

Н. А. Флоренсов



ЗАГАДКИ ЗЕМНОЙ КОРЫ



Н. А. ФЛОРЕНСОВ

ЗАГАДКИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

ИРКУТСК
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ
КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
1984

Флоренсов Н. А.

Ф 73 Загадки земной коры.— Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1984.— 176 с., ил.

70 к.

В книге члена-корреспондента АН СССР Н. А. Флоренсова рассказывается о земной коре — верхней части твердой оболочки нашей планеты. Взаимодействуя с воздушной и водной оболочками, земная кора хранит остатки предшествующей нашему времени жизни на Земле, показывая ее исторический путь. В земной коре сосредоточены ископаемые богатства, без которых не может существовать современная цивилизация и ее дальнейший прогресс.

Автор показывает современное состояние знаний о глубочайших недрах нашей планеты, роль различных наук, изучающих земную кору, и тем самым возможность выбора молодежи своей будущей специальности, относящейся к наукам о Земле.

70800—41
Ф М 141(03) — 84 44—84

4802000000

© Восточно-Сибирское
книжное издательство, 1984

К читателям

Мы живем во время бурного научно-технического прогресса, в эпоху, когда история человечества во всех отношениях и, значит, также в экономическом, социальном и политическом движется с максимальным, ранее небывалым ускорением. Меняясь, человечество меняет и само лицо нашей Земли. Но изменения эти оказывают обратное воздействие на современного человека. Такое положение будет, несомненно, еще долго-долго сохраняться. Особенно глубокие изменения происходят во второй половине XX века в биосфере — слое, или оболочке, жизни на нашей планете, захватывающей своим бесконечно разнообразным органическим миром, а также его отходами не только земную поверхность, не только всю водную и нижнюю часть воздушной оболочки Земли, но и довольно значительную часть твердой земной коры. По крайней мере, три миллиарда лет, если такой, наукой хорошо обоснованной цифрой измерять продолжительность существования биосферы на Земле, понадобилось, чтобы внутри сферы жизни появилось существо, обладающее разумом, — человек. Самые древние следы человека, по существу еще только обезьяно-человека, имеют возраст 2 млн. лет, возможно, несколько больше. В процессе труда — особой формы взаимодействия с окружающей природой — наши предки постепенно очеловечивались, и вот теперь, в наше время, их могущественные потомки — современные люди — как-то неудержимо, стихийно стараются превратить взаимодействие с природой в одностороннее воздействие на нее, воздействие все возрастающее, в которое вовлекаются все новые средства современной цивили-

зации. В капиталистическом мире с его беспредельным государственным, классовым и даже личным эгоизмом подобные взаимодействия, будучи бесконтрольными, нередко ведут к драматическим последствиям, а в будущем могут привести и к невосполнимому ущербу биосферы. Сейчас, в разгар научно-технической революции, мы ясно видим, что только гораздо более высокая, чем капитализм, форма организации человечества с научно обоснованной плановой системой хозяйства, какой является социализм, может оградить биосферу от необратимого разрушения.

Другая характерная черта нашего времени, но уже в рамках собственно научно-технического прогресса, — выход в космос человека и его искусственно созданных аппаратов, а отсюда возможность видеть и изучать нашу планету с космических расстояний. Неоценимую роль здесь играют космические фото- и телевизионные изображения нашей Земли, применяющиеся сейчас в многочисленных сферах науки, техники, экономики и т. д. С их помощью мы многое узнали из того, что находится не только снаружи, на самой земной поверхности, а и довольно глубоко в недрах планеты. Прямой, физический выход человека и его приборов в космос дал возможность сравнить, сопоставить друг с другом новейшие астрономические, астрофизические, астрохимические данные науки о других планетах, иначе взглянуть на природу метеоритов, наших гостей из космоса, по-иному представить себе происхождение и историю нашей Солнечной системы. Научная мысль и техника стремятся в космос все дальше — люди побывали на Луне, многочисленные космические аппараты достигли поверхности Марса и Венеры, летят и к большим планетам Солнечной системы, и к их спутникам, сообщая на Землю удивительно интересные вещи.

И вот на фоне этого общечеловеческого технического и духовного порыва в космос произошел сдвиг в стремлении науки и техники познать также внутренний, наш собственный мир, недра нашей планеты. Уже нередко приходится слышать о том, что, как ни странно, околоземное пространство мы знаем теперь гораздо лучше, чем земные недра. «Непросвечиваемость» Земли долго стояла как бы на страже ее непознаваемости. В то же время все мы отлично поняли, что знание и возможность использования земных недр не менее, а

во многом даже более важно, чем знание околоземного пространства. Недра полностью и, быть может, в первую очередь входят в окружающий нас мир. Путь в глубокие недра Земли лежит через твердую земную кору, и нет места на земном шаре, не защищенного от внешних воздействий. Но оказывается, что, с точки зрения современной науки, мы и о самой земной коре еще очень много не знаем, что те представления о составе, строении, физическом состоянии вещества, о истории развития земной коры, которыми мы обладали совсем недавно, требуют теперь пересмотра. И это совершенно понятно и закономерно. И к данному случаю приложима русская поговорка «Дальше в лес — больше дров». То же самое разумел, например, и великий немецкий физик Гельмгольц, подчеркивая, что чем больше мы знаем, тем больше остается неизвестного, что процесс научного познания тем самым бесконечен.

С очень давних пор, вероятно, задолго до появления письменности, возникло понятие о земной тверди, как крепкой, надежной опоре всего сущего и всего живого на Земле. Вероятно, много позже появилось представление о том, что земная твердь распространяется и под морями, и океанами. Недоступность морских глубин как бы отчуждала в человеческом сознании эту часть земной тверди от материковой и островной суши. Такое отчуждение было свойственно большинству мифологий, религий, ранних философских учений и даже научных представлений до XVI—XVII вв. Но и в последующее время еще долго в сознании ученых сохранялась противоположность земной тверди и водной хляби, а о строении недр судили почти исключительно по данным, полученным на суше. Сама геология вплоть до XX века оставалась по существу «материковой» наукой. Ниже мы увидим, что в наше время это положение изменилось. Вместе с тем все еще сохраняется, но уже на научной основе, противопоставление «материковой» и «океанической» земной коры.

Недра земли, недоступные и потому таинственные, естественно, всегда привлекали к себе фантазию и воображение человека. Но уже на самых ранних стадиях развития человечества «сокровища недр», «подземные кладовые», ископаемые богатства стали не громкими словами, а жизненными реальностями. Ак-

тивно проникать в подземный мир человек начал очень давно, еще во время самых древних цивилизаций пробивались глубокие шахты и другие горные выработки. В настоящее время горное искусство и горная наука стоят очень высоко, но и потребление человечеством полезных ископаемых неимоверно выросло. Во второй половине нашего века оказалось, что большая часть месторождений минерального сырья, находившихся близ земной поверхности, уже обнаружена, разведана, находится в разработке или полностью выработана. Перед человечеством встала необходимость, с одной стороны, искать месторождения, залегающие в земной коре на гораздо большей глубине, и, с другой стороны, искать их в придонных частях морей и океанов. Но и в том, и в другом случае нужно знать как можно больше о внутреннем строении и составе земной коры.

Земная кора, на которой мы живем и будут жить наши потомки, не только одаривает нас своими разнообразными полезными ископаемыми (а без них современная цивилизация не могла бы вообще существовать), она живет по своим законам, живет и развивается, и симптомы ее внутреннего развития нередко оборачиваются для человека стихийными бедствиями. Среди них на первое место нужно поставить землетрясения — прямые свидетельства внутренней напряженной жизни Земли. Немало трагических событий, уносивших многие человеческие жизни, связано с деятельностью вулканов, которые, в свою очередь, демонстрируют нам огромную мощь земных недр, хотя запасы энергий Земли все время расходуются на повсеместную потерю тепла через направленный из глубин к поверхности тепловой поток. Находясь под угрозой пока непредсказуемых в подавляющем числе случаев стихийных явлений, источники энергий и механизмы которых заключены в земной коре, мы не можем не стремиться как можно глубже — в прямом и косвенном смысле — познать ее состав, строение и динамику.

В этой книжке мы расскажем читателям о земной коре, помня, прежде всего, о том, что наружная поверхность твердой земли, поверхность земной коры, сама по себе удивительно информативна. Свойство информативности заключено не только в выступающих во многих местах коренных горных породах, но

и в неровностях этой поверхности, в ее рельефе и, конечно, в таких наиболее выразительных и важных для понимания внутренней природы земной коры чертах ее «лица», какими являются горы. В этой книжке нет нужды рассказывать читателям, что такое вообще горы, склоны, вершины, долины и прочее. Это всем известно. Интереснее рассказать, как они образуются, как протекает их «жизнь», длящаяся миллионы и миллионы лет, какие глубинные явления и геологические процессы они знаменуют своим существованием, как живет сама земная кора и на что она опирается.

Эта книжка написана сотрудником Института земной коры Сибирского отделения Академии наук СССР в Иркутске. Об институте с таким не совсем обычным названием знают многие, но не всем точно известно, что кроется за самим названием. Автору хочется рассказать молодым читателям, во-первых, о том, что такое земная кора вообще в современном понимании, во-вторых, о том, каковы особенности ее в Восточной Сибири с ее сложным устройством земной поверхности и со всемирно знаменитой Байкальской рифтовой зоной и, наконец, в-третьих, — о самом Институте земной коры. На всем этом стоит остановиться подробнее.

ПЕРВЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ. ЧТО МЫ ЗНАЕМ О ЗЕМНОЙ КОРЕ?

*Жительствуя и обращаясь на лице
земном, если бы мы видеть могли,
что в недрах ее под нами скрыто;
всеми бы иногда возможностями ста-
ли усиливаться пройти в глубочай-
шие внутренности.*

Ломоносов

Несколько слов из истории. В феврале 1949 г. было подписано распоряжение, разрешающее Академии наук СССР организовать в Иркутске ее Восточно-Сибирский филиал. К этому времени в Иркутской области уже находились небольшие, но важные академические учреждения: магнитная станция в Зуде, сейсмическая станция и магнитно-метеорологическая обсерватория в Иркутске и Байкальская лимнологическая (озероведческая) станция в с. Лиственичном. В составе филиала Академии наук было организовано несколько отделов (биологический, географо-экономический и др.) и вначале фактически единственный Институт геологии. Прошли немногие годы, первый в Иркутске академический институт вырос и окреп. А в 1957 г. он вместе с Восточно-Сибирским филиалом вошел в только что открытое Сибирское отделение Академии наук с центром в Новосибирске. Именно в это время Институт геологии был переименован в Институт земной коры. Его работы сейчас широко известны как в нашей стране, так и за рубежом.

Но что собственно значит «земная кора» — часть названия и предмет исследований этого института? В этом нужно сразу разобраться.

Геологией называют науку о составе, строении и истории развития земной коры. Значит, Институт земной коры занимается геологическими проблемами, относящимися к верхнему, наружному, слою земного шара, не упуская при этом из виду лежащие глубже, под корой, недра нашей планеты, с которыми кора, понятно, тесно связана. Остановимся на главных ре-

зультатах, достигнутых мировой наукой в изучении этих сложнейших явлений.

В вертикальном (по меридиональной плоскости, например) разрезе Земли установлены следующие оболочки, или концентрически-шаровые пояса, которые принято называть геосферами: земная кора, толщиной от нескольких до 70 км, в среднем 30 км; глубже лежащая мантия, подразделяемая на верхнюю, до глубины 1000 км, и нижнюю, подошва которой лежит на глубинах порядка 2900 км; земное ядро, состоящее из внутренней части Земли до самого ее центра, т. е. до глубины 6370 км, составляющих среднюю длину земного радиуса. Чем доказывается такое разделение нашей планеты на геосферы? Всем ходом развития науки и его сегодняшним итогом. Что собой представляют границы геосфер и насколько ясно они выражены? Они местами вполне четки, местами довольно расплывчаты, но существуют совершенно реально, разделяя шаровые пояса Земли разного геологического состава, а также разного физического состояния, в котором они находятся.

Понятие о земной коре возникло вместе с признанием шарообразной формы Земли, но понадобилось много времени, чтобы оно стало вполне научным. Пожалуй, одним из оснований этому послужило наблюдение за повышением температуры в глубь Земли, свидетельствующее о том, что происходит постоянное перемещение тепла из более нагретых недр к относительно менее нагретым верхним горизонтам. Отсюда понятие о геотермическом градиенте, т. е. повышении температуры с углублением на каждые 100 м. Масштабы измерения глубинного теплового потока проведены в последние десятилетия на всех материках и на дне морей и океанов. Оказалось, что среднее значение теплового потока на Земле составляет $1,2-1,8 \cdot 10^{-6}$ кал/см²с. Оно примерно одинаково на дне морей и на материках. Наивысшие значения потока обнаружены на дне Красного моря и на гребнях срединных подводных хребтов в океанах, где оно равно $2,5-8 \cdot 10^{-6}$ кал/см²с. В Байкале (запомним это на будущее) тепловой поток в отдельных местах достигает аномально большой величины — до $3,4 \cdot 10^{-6}$ кал/см²с.

Тепловой поток Земли составляет, однако, только видимый нами общий фон ее тепловой активности. На нем ярко выступают свидетели существования

огромных энергетических ресурсов нашей планеты. Это выходы глубинных горячих вод, действующие периодически (гейзеры Исландии, США, Новой Зеландии, Камчатки), и особенно извержения вулканов, чаще всего представленных целыми семействами, которые составляют крупные вулканические области и районы. Геологические данные говорят о том, что вулканическая деятельность в самом широком смысле слова, т. е. термальные воды, пары, газы, извержения лав, выбросы пеплов, внедрения расплавов на глубине, имели место в течение всей истории Земли, но достигали особенно большого размаха в отдельные периоды, или циклы, чередовавшиеся с периодами сокращенной, замедленной деятельности. А это значит, что Земля с самого своего возникновения, более 4 млрд. лет назад, расходует свою внутреннюю энергию без видимого истощения ее запасов. Возможно, что эти запасы даже частично пополняются за счет тепла, выделяющегося при распаде радиоактивных элементов.

Огромный запас тепла в глубинах Земли как бы замкнут под ее поверхностью, точнее, — под земной корой, которую можно уподобить стенкам либо парового котла, либо плавильной печи. Расчеты показывают, что на больших глубинах Земли увеличение температуры с глубиной замедляется. Предполагают, что температура в центре Земли порядка 2000—5000°.

Косвенно о наличии особой оболочки земли, земной коры, свидетельствовала еще со времен Ньютона известная средняя плотность Земли, равная 5,52 г/см³, примерно в два раза превосходящая среднюю плотность коренных (кристаллических) горных пород, составляющих поверхностные части нашей планеты. Для объяснения такой разницы плотностей необходимо было признать наличие в недрах тяжелых масс с плотностью даже более 5,52 г/см³. Таким образом, понятие о земной коре вытекало из давно известных науке фактов. Однако со всей определенностью этот вопрос был решен только с развитием сейсмологии — науки о землетрясениях, давших возможность точно регистрировать время, место, характер упругих колебаний и скорость их распространения как в земной коре, так и в толще всей планеты. Вот почему, пожалуй, самым важным инструментом познания внутреннего строения Земли служат пока землетрясения. В следующих главах мы будем говорить о них особо.

Сейчас скажем только самое главное. Русский ученый Б. Б. Голицын еще в начале века указывал, что каждое землетрясение подобно фонарю, который, зажигаясь на короткое время, как бы освещает внутренность Земли и показывает, что там происходит. Создание самописцев-сейсмографов и изучение физики явлений позволило детально разобраться в сущности колебаний Земли при землетрясениях. Оказалось, что эти упругие колебания, или сейсмические волны, имеют разную физическую природу: в волнах Р, или продольных, колебания среды происходят вдоль направления луча, в волнах S, или поперечных, — перпендикулярно к лучу. Продольные волны распространяются по всей толще планеты и имеют большую скорость, поперечные не проходят через земное ядро, они движутся медленнее и, так сказать, запаздывают по отношению к продольным волнам. Это запаздывание, а также способность сейсмических волн отражаться и преломляться, подобно световым лучам, позволило проследить пути сейсмических волн в Земле и установить в ней границы, где скорости волн либо возрастают, либо уменьшаются. Так была открыта нижняя поверхность земной коры — раздел Моховичича (в честь югославского ученого, сделавшего это открытие при изучении сейсмограмм землетрясений), называемый также разделом Мохо, или разделом М. Изменения скоростей сейсмических волн на разных глубинах сейсмологи справедливо связывают с изменением плотности и вязкости вещества, через которое проходят упругие волны, а так как плотность и вязкость вплоть до перехода вещества из твердого состояния в полужидкое и жидкое зависит от температуры, то становится понятным, что теоретически все эти разнообразные, в том числе опытом полученные данные о внутреннем строении Земли могут быть согласованы и увязаны в некоторой общей «модели» Земли. Но практически здесь существуют огромные и еще далеко не преодоленные трудности. Одна из них заключается в том, что в настоящее время ученые все более не соглашались с признанием сферической симметрии Земли, что допускалось и даже утверждалось раньше. Это значит, что границы геосфер и их мощности на самом деле неустойчивы, что сами геосферы обладают, как говорят, горизонтальной неоднородностью. Чем больше накапливается наблюдений,

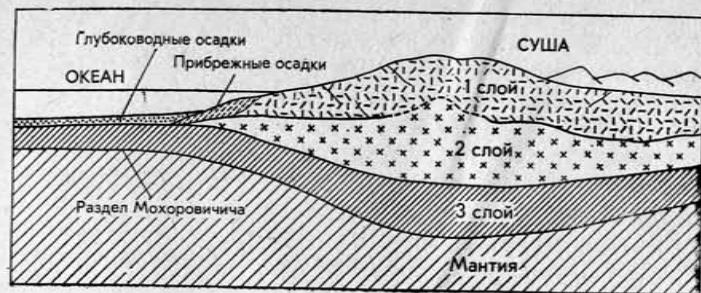


Рис. 1. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ОКЕАНЕ И НА МАТЕРИКЕ
1-й слой — осадочный, 2-й — гранито-метаморфический, 3-й — базальтовый.

тем менее и менее простыми оказываются взаимоотношения оболочек, внутри последних появляются новые границы и дополнительные разделы. Далее различные физические данные о внутреннем строении Земли нередко противоречат друг другу. Очень сложны методики расчетов, в них очень много допущений. Следовательно, земная кора, несмотря на большие успехи, изучена еще недостаточно, и предстоит огромная работа по выяснению ее строения, состава и действующих в ней сил, так или иначе отражающихся и на ее поверхности. Что же нам все-таки известно о самой земной коре?

Мы знаем, что земная кора лежит на мантии, состоящей из химически более основных и более плотных пород. Мощность (толщина) земной коры изменчива. Она минимальна в океанах, максимальна на материках, особенно в областях новейшего горообразования, а средние ее значения приурочены к переходным областям от материков к океанам. Крайние минимальные ее значения — от нескольких километров, максимальные — до 70—75 км. В вертикальном разрезе на материках в коре выделяют три слоя: верхний осадочный, состоящий из осадков вулканических пород, образовавшихся в древних морях и на древних материках, и характеризующийся средней плотностью пород 1,8—2,5 г/см³ и скоростью продольных сейсмических волн 1—4 км/с; средний гранито-метаморфический слой (кислые интрузивные породы, метаморфические, т. е. измененные в условиях высоких температур и давлений первичные как осадочные, так и магматические породы) с плотностью 2,5—2,75 г/см³ и скоростью продольных волн 5,5—

6,2 км/с; нижний базальтовый, состоящий из основных пород типа габбро и метаморфических пород, образованных при очень высоких температурах и давлениях. Плотность в нем 2,75—3,0 г/см³, скорость тех же волн 6,2—7,4 км/с. Средний слой отделяется от нижнего границей Конрада, установленной по относительно резкому изменению скорости сейсмических волн. Местами эта граница незаметна.

Базальтовый слой земной коры опирается на подкорковый (мантийный) субстрат, состоящий из еще более плотных (3,1—3,3 г/см³) ультраосновных пород — перидотитов.

Что касается земной коры океанов, выделяемой в особый океанический тип, то в ней выделяется только верхний осадочный и нижний базальтовый слой.

В основании базальтового слоя и на материках, и в океанах проходит граница Мохоровичича, выявляемая повсеместно, но не везде одинаково отчетливая*. Это и есть подошва земной коры.

Мы видим, что плотность материала и скорость сейсмических волн являются как бы главными характеристиками внутреннего строения земной коры. Эти плотности и скорости изучены экспериментально в образцах соответствующих пород. Что касается изменения скоростей на разных глубинах, то для этой цели используются данные, получаемые как при обычных землетрясениях, так и землетрясениях, возбуждаемых искусственно, с помощью взрывов. Последний метод, называемый глубинным сейсмическим зондированием (ГСМ), в настоящее время очень широко применяется, и с его помощью во многих случаях удалось установить в земной коре отдельных районов значительное число частных границ (разделов, как говорят сейсмологи), отражающих или преломляющих

* По поводу того, что же такое граница Мохоровичича, мнения до сих пор разные. Одни ученые считают, что ниже этой границы основные породы (типа базальта, габбро) сменяются ультраосновными, более бедными кремнекислотой и более богатыми магнием и железом — перидотитами либо эклогитами. Другие думают, что в этом явлении особая роль принадлежит воде, а точнее, — превращению на этих глубинах и давлениях ультраосновных пород в серпентиниты, состоящие из водосодержащих магнезиальных силикатов. Для этого требуется как раз подходящая для глубин граница Мохоровичича температура порядка 500—550°C. Заметим, что роль воды в последнее время выдвигается на первый план в «жизни» всех оболочек Земли.

сейсмические лучи. ГСЗ и другие методы так называемой структурной сейсмологии широко применяются при поисках полезных ископаемых, особенно месторождений нефти, газа, соляных залежей и т. д.

Очень часто геологи рассматривают земную кору как верхнюю часть литосферы, т. е. каменной оболочки, обладающей высокой прочностью. Низы литосферы относятся уже к верхней мантии, они переходят без резкой границы в так называемую астеносферу (сферу слабости или малой прочности), вещество которой обладает пониженной вязкостью и способностью к пластическому течению. Мощность литосферы на материках порядка 100—200 км. Мощность астеносферы невелика и тоже непостоянна. Считается, что наличие астеносферы обеспечивает возможность движения отдельных блоков литосферы, разделенных проникающими в мантию разломами как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. В пределах астеносферы скорость сейсмических волн снижена, что и дает возможность выявлять этот слой слабости сейсмическими методами.

Но вернемся к самой земной коре. Каков ее состав? Можно ли в настоящее время дать на это точный ответ?

На земной поверхности распространены крайне разнообразные горные породы, в которых и найдены все элементы периодической системы Менделеева. Понятно, что конкретный состав горной породы (химический, минералогический) зависит от исходного материала, способа образования, последующих воздействий на горную породу. Во главу угла геологи всегда ставили химизм. Именно по этому признаку первичные горные породы земной коры, образованные при затвердевании и кристаллизации расплавов, подразделяются на кислые, средние, основные и ультраосновные, т. е. соответственно богатые, умеренно богатые, бедные и очень бедные кремнекислотой. Такой порядок соответствует вертикальной распространности соответствующих пород. Осадочный и гранитный слои земной коры состоят в основном из кислых и средних пород, базальтовый слой — из основных, а подкоровое вещество — из ультраосновных, что соответствует и увеличению в том же направлении плотности горных пород. Представитель кислой магматической породы — гранит, средней — диорит, основ-

ной — базальт или его глубинный собрат габбро, ультраосновной — перидотит.

Основной объем земной коры (до 64%, а учитывая окраинные зоны суши с их «переходной» корой, до 79%) сосредоточен на материках, где кора имеет и максимальную толщину — до 75 км. Выяснено, что большая часть этого объема состоит из основных пород, образуя как бы архитектурный фундамент земной коры. Ее нижний, базальтовый, слой исторически являлся тем базисом, на котором геологическое время и геологические процессы возвели свои величественные надстройки в виде материков.

Химический состав земной коры и ее слоев принято выражать в окислах, что соответствует силикатно-окисному составу огромного большинства горных пород и минералов, в кристаллических решетках которых по объему господствует кислород.

По современным воззрениям, вещество земной коры постепенно, в течение длительного геологического времени выделилось из мантии и, таким образом, по отношению ко всему телу нашей планеты земная кора молода. Выделение это происходило путем сочетания двух процессов: выплавления относительно легких продуктов и выделения газов из мантии, ее так называемой дегазации. Сущность процесса выплавления заключалась в выносе к поверхности планеты «легкоплавких» и летучих веществ, образовавших земную кору, водную и воздушную оболочки Земли.

По химическому составу в целом земная кора отличается от метеоритного вещества, поступающего из космоса, и от состава более глубоких оболочек Земли повышенным содержанием кремнезема, щелочных металлов, большинства редких элементов (урана, тория, стронция и др.), а также пониженным содержанием магния и элементов группы железа.

Таковы в самых общих чертах сведения о земной коре. Они многократно проверены, детализированы, а все же многие и многие вопросы строения, состава, физического состояния, условий возникновения, не говоря уже о непрерывной динамике и деформации земной коры, остаются во многом, а то и совсем неясными. Нужно еще иметь в виду, что земная кора — это не замкнутая система. Она продолжает активно взаимодействовать с породившей ее мантией, а также с наружными оболочками — гидросферой и атмосфе-

рой. Эти «легкие одежды» земной коры в течение миллиардов лет геологической истории также меняли свои свойства и состав, во многом, если не в самом главном, управляя развитием биосферы. Нужно еще многое сделать, чтобы понять и использовать в интересах человечества все разнообразные механизмы взаимодействия наружных геосфер, а также понять на этом общем фоне сокровенные тайны столь сложного явления, как земная кора, кладовая всех полезных ископаемых.

Обратимся теперь к подкоровым глубинам Земли, ее недрам, поскольку без них наша земная кора как бы «висит в воздухе». На рис. 2 изображен разрез до самого центра Земли, как он представляется в настоящее время большинству ученых. Границы между оболочками выявлены по сейсмическим данным, кое в чем обоснованы сложными расчетами, а также отчасти и опытными данными, полученными при исследованиях поведения некоторых минералов при изменениях температур и давлений, вызывающих так называемые фазовые переходы. В частности, такими минералами является очень распространенный в глубинах Земли железо-магнезиальный силикат-оливин.

Оставим теперь на время тонкий, подобный пленке верхний слой — земную гору — и начнем мысленный спуск к центру Земли. Под разделом Мохоровичича находится мантия — очень мощная оболочка неоднородного строения. Само слово «мантия», т. е. верхнее покрывало старинной парадной одежды, не очень удачно, но прочно вошло в науку. Различают прежде всего верхнюю мантию, состоящую из слоев В и С. Вместе с земной корой верхняя мантия рассматривается как область не только сложных физико-химических явлений и преобразований глубинного вещества, но и средоточие различных механических движений и деформаций, составляющих тектонические явления. Поэтому земную кору вместе с верхней мантией называют еще тектоносферой.

Довольно четко выражена внутри верхней мантии граница на глубине порядка 100—400 км, на которой расположен астеносферный слой. По мнению многих ученых, она связана с переходом вещества из кристаллического состояния в аморфное. Местами в астеносфере скорость поперечных волн падает до нуля, что объясняется наличием очагов расплава (поперечные

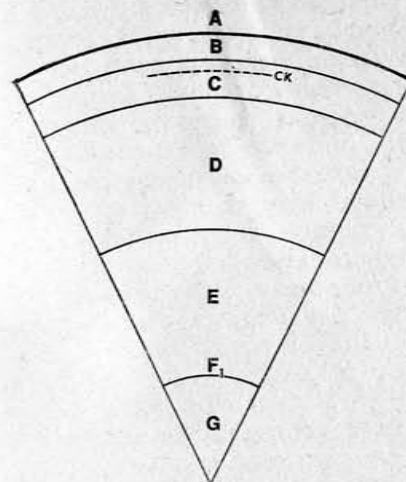


Рис. 2. Внутреннее строение Земли.

А — земная кора (от 7 до 75 км от поверхности); В — верхняя мантия (до 400 км); С — средняя мантия (до 900 км); Д — нижняя мантия (до 2900 км); Е — внешнее ядро (до 5100 км); F — переходный слой неопределенной мощности; G — внутреннее ядро. В верхней мантии на разных глубинах находится астеносфера — зона частичного плавления вещества. Часть верхней мантии, расположенная над астеносферой, вместе с земной корой составляют литосферу, т. е. твердую каменную оболочку. Все оболочки (геосферы) выявлены по данным прохождения (изменений скоростей) сейсмических волн в толще планеты.

волны не проходят через жидкую среду). Под тектоносферой с ее фазовыми переходами находится очень мощная нижняя мантия (слой Д), где отмечается медленное увеличение скорости продольных (до 13,6 км/с.) и поперечных (до 7,3 км/с) волн, что связано с общим увеличением плотности (до 6 г/см³). Верхняя мантия состоит из ультраосновных пород, перидотитов и лерцолитов. Обломки этих пород могут достигать земной поверхности двумя путями: 1 — при выносе через трубки взрыва, как это имеет место в кимберлитовых трубках на алмазных месторождениях Якутии и Южной Африки; 2 — при выносе вместе с базальтовой лавой из подкоровых очагов, где вещество мантии может частично плавиться. Каков состав нижней мантии — остается неясным, но надо думать, что роль тяжелых элементов с глубиной продолжает возрастать. Под влиянием громадных давлений должна иметь место все более плотная упаковка вещества. С глубин порядка 2900 км мы вступаем в область ядра планеты, которое еще в 1897 г. Вихерт считал металлическим. Прохождение поперечных волн через земное ядро не установлено. Скорость продольных волн на границе ядра падает скачком, а на границе с внутренним ядром возрастает и далее остается постоянной до центра Земли. Давление во внутреннем ядре оценивается в 3 млн. атмосфер. Несмотря на громадное

давление и плотнейшую упаковку атомов и молекул, внешнее ядро считается жидким. Здесь, по современным воззрениям, генерируется магнитное поле Земли.

Описанная модель внутреннего строения Земли создана на основании разнообразных геофизических данных, особенно сейсмологии, а также сравнений с веществом метеоритов, на результатах разнообразных экспериментов над поведением горных пород при разных температурах и давлениях и достижений в изучении других планет. Труднее всего определить температуру глубочайших земных недр. Что касается состава ядра, то практически все ученые считают его железным с плотностью около 12 г/см^3 . В самой старой модели по аналогии с железными метеоритами считалось, что ядро состоит из железа с примесью никеля; есть мнение, что в ядре господствует сернистое железо. Недавно выдвинута гипотеза о железоокисном составе ядра. Есть и другие гипотезы, о которых мы скажем ниже.

Все, что уже было сказано о внутреннем строении Земли, имело общее (хотя и с оговорками) признание еще 10—15 лет тому назад. Но и время, и наука идут вперед. Все большее число ученых во всех странах вновь и вновь обращается к этим вопросам, растут общий объем и точность наблюдений, особенно сейсмологических. Казавшиеся относительно четкими и постоянными границы сейсмического раздела местами ступеньваются, а число их увеличивается, возникают разногласия в оценке их глубин. В настоящее время более или менее незыблемыми остаются границы Мохоровича на глубине порядка 400, а также 600—700 км, о которых раньше знали мало. Остается нерешенным, как это ни странно, главный вопрос: что же представляют собой на самом деле границы внутренних оболочек (геосфер) и несколько менее четкие границы внутри них, выделяемые сейсмическими методами (увеличением или уменьшением скорости сейсмических волн)? Что это в конце концов? Резкие изменения в плотности и вязкости вещества безусловны, об этом говорят опыты, но связаны ли они единственно с изменением химического состава или фазовыми переходами, или с тем и другим вместе, и какова в таком случае относительная их роль на разных глубинах? Каковы действительная роль и пределы возрастания с глубиной температур? Не однородна ли Земля по своему

элементарному составу (ставился и такой вопрос!), а различия ее оболочек не объясняются ли единственно скачкообразными изменениями физического состояния (фазовыми переходами)? Что является возбудителем огромных и по-разному ориентированных сил в земной коре и в тектоносфере в целом, которые, начиная с древнейших времен, создавали и продолжают в наше время создавать разнообразные деформации в литосфере — складки, разломы, сдвиги, надрывы и т. д.? Перед наукой встают все новые вопросы. Мы еще не до конца знаем, что такое земная кора и как она образовалась, но уже делаются серьезные попытки изучать с помощью космических аппаратов коры Марса, Венеры, Луны, и они оказываются очень полезными для познания глубин нашей Земли. Больших успехов достигла в наши дни сравнительная планетология и особенно космохимия. Но продолжает удивлять господство кислорода. Поскольку и земная кора, и мантия в предложенных до последнего времени моделях состоят из силикатов и окислов, а анионы кислорода занимают более 90% их объема, получается, что Земля имеет в основном «кислородное сложение». А так как самый распространенный в природе тяжелый элемент — железо, то из него и должно состоять плотное земное ядро, но с обязательной примесью каких-то других элементов. Это необходимо для объяснения средней плотности Земли. Становится все более ясным, что метеориты попадают на Землю не из ближайших ее «окрестностей», а из значительно более удаленного от Солнца, чем Земля, пояса астероидов, который находится между Марсом и Юпитером, и вещество метеоритов нельзя просто сопоставлять с земным, как это делалось раньше. Состав Солнечной короны плохо сопоставим с элементарным составом доступных частей Земли. Появились сомнения в вещественной однородности небулы (туманности), из которой возникли и Солнце, и планеты. Против старой, казалось, общепринятой «химической модели» Земли стали выступать сами геохимики.

Сейчас предложены новые такие модели. Одна из них, выдвинутая советским ученым В. Н. Лариным, — гипотеза изначально гидридной Земли. Гидриды — соединения металлов с водородом, самым распространенным элементом на Солнце, и они-то и слагают, по данной гипотезе, внутреннее ядро Земли, в то время

как внешняя часть ядра состоит из соединений и сплавов металлов (на основе кремния, магния и железа) с растворенным в них водородом. Нижняя мантия и нижняя часть верхней мантии по той же гипотезе, начиная с глубины 300—400 км, состоят из металлов, а вышележащая часть мантии и земная кора, составляющие, как мы помним, литосферу — из силикатов и окислов. Это царство кислорода, вытесненного из более глубоких оболочек еще на ранних стадиях развития планеты. Гипотеза изначально гидридной Земли объясняет многие вопросы и явления, бывшие доселе неясными. Она привлекла к себе внимание многих ученых и имеет немало сторонников.

На основе новых, преимущественно геохимических и космохимических данных высказана идея, в которой «океаническая» и «континентальная» земная кора не считается, как до сих пор было принято, столь резко несходными по составу образованиями. Есть еще и другие точки зрения.

Наконец, нельзя пройти мимо прямых фактов, только что полученных при бурении сверхглубокой скважины в Карелии, которая уже достигла глубины 11 км. Это самая глубокая скважина в мире, и проходка ее продолжается. Сверхглубокое бурение в нашей стране предпринято в основном в научных целях, с расчетом достигнуть границы земной коры и мантии. Прогнозы геологов и особенно геофизиков оказались в этом случае неверными: никакой поверхности Конрада, долженствующей разделять гранитно-метаморфическую и базальтовую оболочку внутри земной коры, скважина в Карелии на рассчитанной глубине не пересекла. Значит, данным геофизики (в данном случае, сейсмоки) нельзя полностью доверяться или, лучше сказать, слишком просто их толковать. Отказаться от них полностью тоже нельзя.

Незыблемым во всех — старых и новых — представлениях остается силикатно-окисный состав земной коры и наличие раздела Мохо в ее основании.

В этой главе мы рассказали о земной коре, из которой читатели могли убедиться в существовании, с одной стороны, твердых научных знаний, а с другой — спорных и неясных представлений о ее составе, структуре и развитии. И пусть это обстоятельство не озадачивает читателя. Напротив, такое положение вещей — стимул для новых и новых научных поисков.

Три науки нашего времени направляют свои усилия на познание земной коры, а также подстилающих ее оболочек — геология, геофизика и геохимия. Равноправны ли все члены этой «троицы»? И да, и нет. Организационно, по различию методов и приемов в изучении Земли, а также по вузовским учебным планам они равноправны. А по существу своему геофизика и геохимия кажутся несколько более узкими или специализированными (с одной стороны, физика, с другой — химия Земли), но в то же время как бы более углубленными в свой предмет. Геология, как говорилось выше, наука о составе, строении и развитии земной коры, предмет ее более общий, более объемный. Это определение в настоящее время несколько устарело. Во-первых, это следует из самого названия: геология — наука о Земле, а не только о земной коре. Ее предмет — все свойства тела нашей планеты от поверхности до центра, но возможности проникновения геологии в глубь планеты ограничены ее собственными методами, отличными от геохимических и геофизических. Отсюда тесная зависимость друг от друга всех членов нашей триады, хотя известное «моральное» право на руководящую роль остается за геологией, бывшей когда-то единой наукой, а затем разделившейся на более или менее самостоятельные ветви. Поэтому и в наши дни считается, что за обобщение или объединение всех существующих знаний о твердой Земле отвечает в конечном счете геология.

В Иркутском научном центре имеется самостоятельный Сибирский геохимический институт имени А. П. Виноградова. Геология и геофизика входят в Институт земной коры. Головной институт того же профиля имеется в Новосибирске. Но все это не значит, что в Институте геохимии никому нет дела до геологии, а Институт земной коры игнорирует геохимию. Совсем нет. Дело лишь в разных углах зрения, в методах и направлениях решения задач, в конечном счете геологических.

В Институте земной коры одно из главных направлений — изучение древних и современных «остаточных деформаций», т. е. структур земной коры, геофизических полей, землетрясений, вулканизма и его продуктов, пороодообразования при высоких, собственных недрам температурах и давлениях. Поскольку Восточная Сибирь — область массовых выходов на по-

верхность древних и древнейших пород, то институт занимается и их изучением. Только с их помощью возможны реконструкции геологических обстановок и условий породообразования на древних и древнейших стадиях развития земной коры.

Это не все. К триаде наук, изучающих Землю и ее кору, примыкает геоморфология — наука о формах рельефа Земли. Соответственно геоморфологические исследования занимают важное место в деятельности Института земной коры. Легко понять, почему это так. Если геология, геофизика, геохимия занимаются главным образом самим телом планеты — всем тем, что находится ниже твердой земной поверхности, то сама земная поверхность, как бы направляющая исследования этих наук вглубь, также отражает свойства земных глубин, информируя о процессах, которые происходили и происходят на глубинах. Земная поверхность развивается вместе со всей планетой. Она отделяет литосферу от гидро- и атмосферы и несет в себе колоссальную информацию о жизни планеты в целом.

Южная Сибирь и примыкающая к ней с юга северная окраина Центральной Азии — естественный полигон разнообразных исследований Института земной коры. Эта огромная часть азиатской суши имеет, как известно, гористый рельеф, возникший геологически сравнительно совсем недавно, продолжающий интенсивно развиваться. В плане, т. е. на карте, перед нами довольно причудливое сочетание высоких и низких хребтов, цепей, массивов, высоких плато, нередко разделенных внутренними, межгорными впадинами. Мы можем говорить о единой, хотя и внутренне сложной Монголо-Сибирской горной системе. Горы Южной Сибири и Монголии прямо, без перерывов переходят друг в друга. Она имеет связь и с дальневосточными горами через восточное продолжение Станового хребта, но эта связь не везде четкая. Понятно, Монголо-Сибирская горная система в силу своих громадных размеров неоднородна во многих отношениях. Рассказывая о ней, мы найдем на здешних просторах удивительное разнообразие скульптур земной поверхности и, кроме того, ознакомимся с самими «скульпторами» — в прямом смысле слова создателями гор, виновниками различия их форм и целых горно-ледниковых, горно-таежных и горно-степных ландшафтов.

Заканчивая эту главу, напомним читателям об-

щую, принятую во всем мире схему периодизации геологической истории, так как мы не сможем обойтись без нее в последующих главах. Основные подразделения такой схемы, получившие «собственные имена», были выделены, т. е. отделены друг от друга на основании изменений в составе развивающегося с глубиной древности органического мира. Этот эволюционно-палеонтологический подход дает возможность определить относительный возраст тех или иных отложений. Дополнительным, но крайне важным было установление резких перерывов в отложениях разных подразделений, скачкообразных изменений или вымираний отдельных групп органического мира, эпохи складчатости. Сейчас с помощью данных о скорости радиоактивного распада некоторых элементов и изотопного анализа традиционные подразделения геологической истории измерены и по своей абсолютной продолжительности (в миллионах лет).

Палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры геологи иногда объединяют в фанерозой — время «яв-

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА

Эра	Период	Абсолютный возраст начала подразделения, млн. лет
Кайнозойская («новой жизни»)	Четвертичный	2
	Неогеновый	25
	Палеогеновый	70
Мезозойская («средней жизни»)	Меловой	136
	Юрский	190
	Триасовый	225
	Пермский	280
	Каменноугольный	345
Палеозойская («старой жизни»)	Девонский	395
	Силурийский	430
	Ордовикский	500
	Кембрийский	570
	Поздний (рифей)	1600
	Средний	1900
	Ранний	2600
Протерозойская («древней жизни»)	Поздний	
	Ранний	4000

ной жизни», а протерозойскую и архейскую эру называют соответственно поздним и ранним докембрием. Заметим еще, что периоды фанерозойского времени разделяются на отдельные эпохи, в таблице не указанные.

СИЛЫ, СТРОЯЩИЕ И ПЕРЕСТРАИВАЮЩИЕ ЗЕМНУЮ КОРУ, ИЗУЧАЮТСЯ ТЕКТОНИКОЙ

Земля находится в подвижном равновесии, и соответствие постоянных напряжений точно отражено структурами горных масс коры.

С. Невин

Слово «тектоника» в переводе с греческого означает строительство, и по отношению к выражению «тектоника земной коры» это наиболее точно. Земная кора действительно строилась и перестраивалась в течение всей геологической истории. Она и в настоящее время продолжает перестраиваться. Процесс перестройки означает, очевидно, преобразование внутреннего строения земной коры, из чего следует, что в каждый отдельный момент геологической истории Земля и ее кора обладают какой-то завершенной на данный момент структурой.

При подобном понимании тектоники как процесса перестройки коры и тем самым создания ее внутренней и внешней (формы земной поверхности) структуры главная роль отводится механическим силам, почему и сами преобразования рассматриваются в основном как механические деформации различных геологических тел и их сочетаний. Такие деформации, слабые и сильные, медленные и быстрые, геологи называют специальным словом «дислокации».

Но откуда берутся тектонические силы и деформации, составляющие механику земной коры? Этот вопрос, один из главнейших для всей геологии, остается до сих пор не решенным, оставаясь в сфере более или менее обоснованных, более или менее остроумных догадок и предположений. И это несмотря на то (а пожалуй, именно потому), что источников механических напряжений в земной коре более чем достаточно. Чего стоит одно вращение Земли вокруг своей оси! Оно порождает центробежные силы, максимальные на экваторе и равные нулю на полюсах, а в промежуточных широтах отклоняют все тела, движущиеся косо к параллелям, в северном полушарии вправо, а в южном — влево. Скорость вращения Земли во времени закономерно, хотя и незначительно, меняется. На Зем-

лю действуют мощные приливы, вызванные тяготением соседних небесных тел, особенно Луны. Эти приливы совершенно регулярны и движут как воды океана, так и твердую земную кору. А земное тяготение и сила тяжести, увлекающие любые, большие и малые, массы вниз, к центру Земли! А наличие огромных запасов тепловой энергии в недрах планеты и несомненные факты приближения порций этой энергии снизу к земной коре и даже к самой поверхности (вспомним об извержениях вулканов, о постоянном глубинном тепловом потоке), неравномерного от места к месту и от времени до времени! И многое, многое другое, вроде установленного перемещения географических и магнитных полюсов, вероятных изменений длины земного радиуса. И вот при таком разнообразии возможных причин, вызывающих механические напряжения земной коры, основная причина, которой можно было бы объяснить все тектонические явления, если положить руку на сердце, все еще не найдена. А если, как думают некоторые увлекающиеся ученые, и найдена, то далеко не всеми признана. К счастью, это не мешает изучать тектонику земной коры, хотя такое изучение и основано на допущениях, а не на научных истинах и во многом формально. На помощь приходят полевые наблюдения, сбор фактов, лабораторный эксперимент, изучение морфологии деформаций земной коры и отдельных геологических тел, и малых, и очень больших, и гигантских, и, наконец, самый могущественный из всех методов геологии — исторический. Геологи уже давно научились различать в тектонике земной коры структуры активные и пассивные, кратковременно и длительно развивающиеся, жесткие и податливые к деформациям, первичные (например, когда горизонтально лежащие слои осадочных пород впервые сминались в складки) и вторичные, наложенные, при которых слои, уже собранные в складки, еще раз сминались, часто под другим углом, пересекались разломами, срывались со своего основания и т. д. Самое же главное, геологи, пользуясь шкалой геологического времени и возрастом геологических тел, испытавших ту или иную деформацию, научились располагать тектонические явления прошлого в достаточно строгом историческом порядке и тем самым видеть реальные связи (часто унаследованные) таких разновременных явлений. В настоящее время

удалось, пользуясь всеми этими приемами, представить себе тектоническую историю земной коры, т. е. ход перестройки земной коры и более подробно отдельных крупных ее частей, начиная с глубокого докембрия до современности. Это огромное завоевание геологической науки. Большую роль в этом очень трудном деле сыграли советские ученые, немалое значение имели в нем их исследования в Восточной Сибири.

Удалось ли выявить основную линию и направление тектонического развития земной коры? Пожалуй, еще нет. Покажем это на развитии самой геологии в течение последних двух веков.

Мы помним теорию (скорее, гипотезу) Канта—Лапласа о происхождении Солнечной системы, ее планет и, следовательно, Земли путем сжатия, разогрева и последовательного отрыва экваториальных колец от вращающейся центральной туманности. Из распавшихся колец образовались отдельные планеты, центральное ядро стало Солнцем. Земля, первоначально расплавленный сгусток космической материи, охлаждаясь, постепенно покрылась твердой корой, над ней образовались водный и воздушный океаны. Но Земля продолжала охлаждаться и сжиматься. Уже остывшая кора, имея под собой продолжающее охлаждаться и сжиматься ядро, принуждена сокращаться, сморщиваться, собираться в складки и пр. В таких представлениях, казалось, была найдена причина тектонических сил и деформаций. Пока Земля не остынет и не затвердеет окончательно, эти силы и рычаги геологической истории будут действовать безотказно.

Время шло, наука развивалась, и представление о непрерывном сжатии Земли, названное теорией контракции (сокращения), пришлось оставить — оно не могло объяснить установленных геологией новых фактов и закономерностей, в особенности объяснить неравномерность тектонических явлений прошлого как во времени, так и пространстве. Выяснились периодичность, или цикличность, в истории земной коры, необъяснимые одной контракцией. Было установлено, что периоды спокойного тектонического режима, при котором сильнейшие деформации коры или даже ее отдельных частей на Земле не имели места, сменялись относительно менее продолжительными периодами бурного развития, громадных глубинных деформаций, разломов земной коры и горообразования. Вместе с

тем оказалось, что такие геологические бури разыгрывались по земному шару с неодинаковой силой. Они концентрировались в сравнительно узких окраинно-материковых и островных зонах, где земная кора в предыдущем периоде относительного покоя испытывала длительный и глубокий прогиб, где накапливались осадки, нередко огромной мощности, а также толщи вулканического происхождения. Такие зоны — особо подвижные области земной коры — были названы геосинклиналями. Они проходят в своем развитии через тектонический цикл один или несколько раз и в конце концов как бы «умирают», окостеневают, насыщаются глубинными внедрениями магмы преимущественно кислой (гранитной), становятся малоподвижными и превращаются в так называемые платформы — жесткие устойчивые массы, не способные к сжатию и складкообразованию. В силу своей относительной хрупкости, тело платформ подвержено, однако, разломам, главным образом по своей периферии. Эти разломы в беспокойные стадии развития земной коры служат каналами, по которым из подкоровых глубин поднимаются к поверхности и изливаются на ней в виде лав основные породы, близкие к базальтам. Таковы, между прочим, сибирские траппы, которые в виде внутрислойных внедрений и покровов занимают огромное пространство между Енисеем и Леной, примерно в середине Сибирской платформы, образуя широко известную Тунгусскую трапповую провинцию.

Таким образом, платформы — это отжившие свой геологический век геосинклинали, как бы опоры, жесткие ядра земной коры, сохраняющиеся почти неизменно в течение многих периодов и даже эр. Однако историческая геология знает отдельные случаи перерождения платформы снова в геосинклиналь, точнее, — превращение платформы или ее части в фундамент новой геосинклинали.

Итак, развитие структуры земной коры идет через возникновение, развитие (возможное как на материковой, так и на океанической коре) и, так сказать, замыкание геосинклинали с превращением обычно в горную сушу и затем в платформу. В этом геологическом учении, названном теорией платформ и геосинклиналей, путь развития коры однозначен — превращение (в далеком от нас будущем) коры в общую жесткую массу, состоящую из спаянных друг с другом плат-

форм при частичном или полном вырождении геосинклиналией. В таких взглядах энергетическим источником тектонических процессов остается глубинное тепло, а в далекой геологической перспективе, так же как в теории контракции, его иссякание и тепловая «смерть» Земли. Моделью такой перспективы была (кстати, и остается) Луна.

Что же дальше? Дальше в течение многих лет классическая теория геосинклиналией не имела соперниц. Но она была основана, естественно, главным образом на изучении геологии материков, островов и околосматериковых мелководий. Океаны, их геология и их прошлое оставались загадкой. Только в 1960-х годах изучение океанов резко продвинулось вперед. Оно принесло замечательные, во многом неожиданные результаты. Была открыта Мировая рифтовая система, состоящая из подводных хребтов и впадин, как бы оплетающая весь земной шар. Об этой системе мы расскажем подробнее в главе «Что такое Байкальский рифт?». Сейчас отметим только, что рифтовые хребты и впадины оказались очагами растяжения земной коры и в океанах, и на материках, что их рост приводит к расширению (спредингу) ложа океанов в обе стороны от срединно-океанических хребтов. Оси этих хребтов соответствуют глубоким разломам, по которым мантийное вещество поднимается на поверхность и дает начало новым порциям океанической коры, отталкивая старую океаническую кору в стороны континентов, где эта кора вместе с накопленными на ней морскими осадками погружается под значительным углом под материк (такое явление названо субдукцией), там перерабатывается и наращивает собой снизу кору материков.

Но и материк не остается при этом неподвижным, и речь идет уже не о земном шаре, как таковом (см. главу 1), а об литосфере, которая, кроме коры, включает в себя верхние горизонты верхней мантии и лежит на астеносфере, вещество которой находится в частично расплавленном виде, имеет пониженную вязкость. Это дает литосфере или отдельным ее пластинам возможность скользить в горизонтальном направлении, а также при каждом значительном изменении нагрузки сверху немного «тонуть» или немного «всплывать» на астеносфере. Так сложилась так называемая тектоника плит, новая гипотеза, быст-

ро завоевавшая огромное количество сторонников. Созданная за рубежом, эта гипотеза поддерживается и развивается также многими, но не всеми советскими учеными. Следуя ей, историю тектонического развития земной коры представляют, во-первых, как образование в ослабленных местах зон растяжения и расхождения краев рифтовых впадин, что ведет к образованию океанов. Раннюю современную стадию такого процесса видят в рифтовой впадине Красного моря, структуре растяжения, по которой Северная Африка отделяется в настоящее время от Аравии. Во-вторых, литосфера считается состоящей из отдельных плит, разделенных глубочайшими разломами и могущих достигать в поперечнике многих сот и тысяч километров. Такие плиты медленно двигаются по астеносфере в горизонтальном направлении (современная скорость расхождения плит оценивается сантиметрами в год). Расходясь, плиты создают океаны, сближаясь, сжимают промежуточные прогибы, или провесы, коры, а то и целые провалы континентальной или океанической коры вместе с накопившимися в них осадками, вызывая складкообразование, глубинный магматизм и прочие явления, типичные для геосинклиналией. Одним из таких «рубцов», зоной стыка и сжатия двух литосферных плит, соответствующих Восточно-Европейской платформе и Западно-Сибирской плите, является узкая складчатая зона Урала.

«Тектоника плит» объяснила явления, ранее не находившие полного понимания, но и она споткнулась на некоторых трудностях, и научные дискуссии на этот счет продолжают. Мы не будем углубляться в них, но заметим, что уже давно и как бы подсудно в геологии параллельно сохраняется важная идея о чередовании в геологической истории Земли состояний ее общего расширения и общего сжатия. Эту так называемую пульсационную гипотезу разделяют многие ученые. С ее помощью также можно объяснить многие геологические явления в прошлом и настоящем. Так, в периоды сжатия становятся понятными столкновения отдельных «кусков» литосферы, складчатость отложений и образования складчатых гор, а в периоды растяжения — образование рифтовых впадин, расширение океанов и т. д. Некоторые ученые считают, что главным, ведущим в этом процессе является все же расширение Земли. Вся эта гипотеза очень заманчива, но при

существующем общем признании, что внутреннее тепло Земли генерируется радиоактивными процессами, постоянными во времени, трудно указать на общую физическую причину пульсации объема планеты.

Мы углубились в самую гущу современных идей о причинах тектонических явлений и истории земной коры. Но не менее, если не более, необходимо остановиться на некоторых «частностях», на отдельных структурах, составляющих общую, медленно, но непрерывно развивающуюся конструкцию земной коры.

Механические напряжения в земной коре создают разнообразные деформации геологических тел. Лучший пример — складки, которые состоят из ранее, несомненно, горизонтально лежавших слоев. Такие деформации физики называют остаточными, ибо они остаются и после прекращения действия создавших их сил. Но в земной коре существуют и упругие деформации, которые исчезают по прекращении действия силы. Это деформации сжатия и растяжения, какими являются упругие колебания, распространяющиеся в толще земной коры и в подкоровых глубинах при землетрясениях. В самом очаге землетрясения первичная деформация имеет, наверное, необратимый характер, а сейсмические волны, как упругие деформации, распространяющиеся в виде сейсмических лучей, создают остаточные деформации (например, трещины разрывов), лишь достигая земной поверхности. Таким образом, упругие деформации происходят в земной коре, в соответствии со статистикой землетрясений, ежедневно множество раз (в масштабе всего земного шара).

Из самого понятия упругих, обратимых деформаций следует, что они не сохраняются в земной коре. Вся она построена из разнообразного материала, подвергавшегося, как правило, много раз необратимым, остаточным деформациям. Выходит, что и сами дислокации, или деформации, были одновременны и местами накладывались, как мы видели выше, друг на друга. Крупные остаточные деформации земной коры — это и есть тектонические структуры, связанные друг с другом или генетически, или исторически, или просто пространственно. В общем внутреннем «устройстве» земной коры это те составляющие ее элемен-

ты, какими являются, например, внутренние органы, их ткани и клетки в живом организме.

С точки зрения тектоники, дислокации делятся на два класса — хрупкие и пластические. Те и другие относятся, понятно, к остаточным. Хрупкие — это различные разломы, или разрывы, земной коры, от самых малых до крупнейших, разделяющих целые части материков и океанов. Малые мы видим в виде трещин в любом крупном выходе коренных горных пород на земную поверхность. Часть трещин может относиться, впрочем, к явлениям поверхностным, связанным с изменением температуры, влажности и т. д., и в этом геологу необходимо разобраться на месте. В небольшом обнажении, особенно в северных широтах, можно встретиться и со сложными пластическими нарушениями в залегании слоев, вызванных процессами оттаивания и промерзания. Подобные им мелкие, но крутые складки могут быть вызваны древними оползнями и прочим. Но вернемся к хрупким деформациям.

Один простой пример. Разлом, или раскол, может произойти так, что края разломанной вещи еще сохраняют прежнее положение. Таковы трещины в тарелках, которыми еще можно пользоваться. Если разлом будет полным и трение уже не сможет удерживать соприкасающиеся по трещине части тарелки, она просто развалится. В земной коре, замкнутой, так сказать, самой на себя, отваливаться от трещины разлома частям некуда. Разломы, самые мощные и глубокие, остаются на месте, но их края, или, по геологической терминологии, крылья разлома, могут перемещаться относительно друг друга. По наличию, величине (амплитуде) и направлению такого перемещения разломы делятся на разные, как говорят, морфологические и генетические типы. Если крылья разлома просто разошлись — перед нами раздвиг. Если одно крыло опущено относительно другого — это сброс. Если трещина разрыва значительно наклонена к плоскости горизонта, то можно различить лежащее и висящее крыло, а если первое из них еще сдвинуто вверх, то это будет взброс или, при пологом наклоне трещины разрыва, надвиг. При смещении крыльев только в горизонтальном направлении вдоль разлома мы получим сдвиг. Именно сдвиги, как оказывается, достигают максимальной амплитуды, особенно при многократ-

ных движениях в одну и ту же сторону. Геологам известны сдвиги в сотни километров, амплитуда сбросов меньше — обычно несколько, до десятка километров. Все эти типы разломов дают и взаимные переходы, и комбинации. Ими, как и пластическими деформациями, занимается специальная часть тектоники — структурная геология. По современным представлениям ученых, разломы могут возникать, надолго прекращать свое развитие и вновь оживать, причем многократно. Разломам приписывается основное значение в структуре земной коры.

Пластические деформации, происходящие без разрывов, т. е. в виде искривлений, изгибов и складок, особенно широко распространены и доступны для изучения в горных областях и в фундаментах древних платформ. Господствующий и лучше наблюдаемый их тип — складки слоистых осадочных и осадочно-метаморфических толщ. По форме, симметрии крыльев, по размаху, а также охвату того или иного объема коры различают многие типы складок (например, прямые, косые, даже лежащие и опрокинутые). Все они делятся на два класса: синклинальные, когда изгиб слоя обращен вниз, и антиклинальные — изгиб вверх. Гигантские антиклинальные складки сложного строения создают целые горные системы. Например, Большой Кавказ — единая огромная внутренне очень сложная антиклинальная складка. Такие складки называют антиклинориями.

Разломы могут возникать и при растяжении, и при сжатии земной коры, и по их морфологическим признакам мы можем различать, в какой именно динамической обстановке они образовались. Другое дело пластические формы, каких бы размеров они ни достигали. Это всегда складки, радиус кривизны которых может быть от микроскопического до десятков и сотен километров, как мы только что упоминали (Большой Кавказ). Всякие складки (если только это не провесы слоистых толщ над неустойчивым основанием) — дислокации сжатия, при которых возможно не только смятие в складки, но и растяжение самих слоев с их утончением.

Складки мы наблюдаем относительно редко в полурыхлых и геологически молодых толщах, гораздо чаще, но не всегда, в слоях, испытавших «окаменение» (литификацию). Так, гигантская Сибирская платфор-

ма несет на себе мощный (свыше 2 км толщиной) покров литифицированных нижнепалеозойских отложений, испытавших за 300—350 лет только слабую складчатость и то в немногих местах. Зато разломы и окружают Сибирскую платформу наподобие рамы и проникают далеко в глубь ее.

Чем древнее толщи осадочных да и вулканических пород, очень часто переслаивающихся с первыми, тем больше они имели шансов испытать складчатость и тем самым приобрести складчатую структуру. Только в чехлах древних платформ, лежащих на жестком нестигаемом основании, такие породы могли избежать сложных да еще и неоднократных тектонических деформаций. Вот почему древнейшие толщи архейского и раннепротерозойского возраста практически повсеместно интенсивно складчаты, и распутать их складчатую структуру можно только при специальных и очень детальных исследованиях. Примеры таких исследований, выполненных сотрудниками Института земной коры, мы имеем и в Прибайкалье.

Одна важная сторона дела позволяет нам уяснить, почему в геологическом смысле разломы, как правило, оказываются моложе самых молодых складок. Как известно, давление и температура земной коры увеличиваются с глубиной. Нагрев понижает вязкость и плотность и повышает пластичность горных пород. Поэтому глубинные зоны Земли благоприятствуют пластическим деформациям, тогда как в поверхностных частях коры легче происходят хрупкие дислокации. Складчатость в целом — процесс глубинный, и, оказавшись близ поверхности, складочные толщи могут подвергаться лишь изгибам, но зато в них легко образуются разрывы.

В настоящее время предполагается, что литосфера даже на значительной глубине расчленена разломами, среди которых много горизонтальных, что делает возможным перемещение по ним и между ними больших пластин литосферы. Если это так, то можно, по видимому, считать состояние вещества на подобных глубинах промежуточным между хрупким и пластичным.

Все, о чем мы говорили в этой главе, относилось как бы к прошлому земной коры, к периоду ее «строительства». В современную эпоху мы имеем нечто вроде результата этого тянувшегося миллиарды лет строи-

Беликую часть земли покрывают каменные голые горы. Рассудя наше высокие их вершины, утесы, ущелины и самые из дикого камня состоящие береги рек и морей... не иначе заключить можем, что твердая она материя немалую часть от земной поверхности себе уделает.

Ломоносов

тельства. Но здесь-то мы и должны вспомнить, что механические напряжения в земной коре никогда не прекращались, лишь временами резко усиливаясь. Следовательно, они происходят и сейчас, и свидетельств того предостаточно. Прежде всего — это землетрясения. Сведения о них есть во всей человеческой истории, а геологические следы уводят далеко в глубь времени. Громадные разломы, создавшие, например, впадину Байкала, которые происходили еще на глазах людей древнекаменного века, ощущаются доныне. Современный рельеф Земли продолжает изменяться под воздействием движений самой земной коры — поднятий, опусканий, горизонтальных смещений. Об этом говорят не только последствия землетрясений, но и геофизические измерения, а в истории много случаев значительных изменений береговых линий морей и океанов и множество других фактов и наблюдений во всех частях света.

Исследуя тектоническую историю новейшей геологической эры, кайнозоя, ученые пришли к непреложному выводу, что основы современного рельефа суши и, по-видимому, дна океана были заложены в конце палеогена, и период рельефообразования как процесса, направленно развивавшегося до наших дней, включает в себя неоген (миоцен и плиоцен) и четвертичный период, или антропоген, продолжающийся и в наше время. Все это время (около 30 млн. лет) принято называть этапом новейшей тектоники, а тектонические явления, происходившие в нем, — новейшими.

Первым ученым, указавшим на необходимость различать в истории Земли неотектонику (новейшую тектонику), был В. А. Обручев. Предложенный им термин ныне принят в мировой науке. Этот крупнейший русский геолог рубежа XIX и XX столетий пришел к таким выводам на основе изучения гор, впадин, молодых отложений и следов очень молодого вулканизма в Прибайкалье и Центральной Азии. Из новейшей тектоники иногда, и это вполне разумно, выделяют современную тектонику, так как ее явления непосредственно касаются современного человечества, а их подробное, в том числе и инструментальное, изучение помогает нам понять, как происходили тектонические процессы в далеком геологическом прошлом, объяснить их динамику. Советские ученые добились в этом направлении немалых успехов.

Горные сооружения, создающие сложный рельефный рисунок на земной поверхности, всегда связаны со строением земной коры, причем, как мы видели в первой главе, нередко на всю ее толщину. Горы — одни из ведущих «персонажей» в истории земной коры.

Для создания таких гигантских скульптур, как горы, так же, как и в ваянии, необходимо извлечение из земных недр каких-то каменных блоков, глыб или, когда речь идет о целых нагорьях и горных странах, образование обширных выпуклостей земной коры. Эту работу выполняют знакомые нам тектонические силы, вызывающие в приповерхностных частях коры преимущественно хрупкие деформации. Именно ими и осуществляется выламывание из земной коры относительно монолитных глыб по ограничивающим их трещинам разломов, из которых многие рассекают кору на всю ее толщину и уходят глубже, в мантию. Разумеется, подобная работа совершается медленно, в масштабах геологического времени. Выдвинутый над окружающими пониженными пространствами блок земной коры (либо огромная выпуклая складка) тут же, с первых моментов возвышения над окружающей местностью, подвергнется снаружи «скульптурной» обработке различными внешними силами, преимущественно текучими водами, которая затем и будет продолжаться сотни тысяч и даже миллионы лет. За это огромное время может случиться, и не раз, что наш блок земной коры еще несколько поднимется, или опустится, или наклонится, или, наконец, сдвинется куда-то в сторону. Среди внешних геологических «деятелей», которые уже раньше трудились над созданием рельефного рисунка гор и которые порождены атмо- и гидросферой, то есть лучистой энергии

Солнца, это вызовет обязательную перестройку. Может случиться, что различные «агенты климата» — вода, лед, воздух, а также органический мир изменят прежнее направление своей работы, а некоторые даже выйдут из игры, уступив место другим, что обычно бывало связано с изменением климата, чутко реагирующего на каждое существенное поднятие земной коры.

Облик форм рельефа определяется материалом. Он крайне разнообразен, как разнообразны геологическое строение разных районов и составляющие их горные породы. Почти всегда сказывается и форма отдельных геологических тел (пластов, жил, нагромождений вулканических продуктов, различного вида и размера внедрений глубинного магматического материала) и способ их залегания: для слоистых толщ, например, наклонное или горизонтальное залегание, складки и разломы. И природа, создавая рельеф земли, также пользуется, в зависимости от материала, как бы разной техникой. В одном случае из твердых и крепких пород будут создаваться формы выточенные, вырезанные (геологи говорят, денудационные, то есть открытые, обнаженные); из рыхлых пород, состоящих из не связанных друг с другом обломков, например, песка, создаются как бы лепные формы (аккумулятивные, у геологов), наконец, из расплавленных масс — вулканических лав — образуются различной формы отливки: потоки, покровы, купола и т. д. О них речь впереди.

На Земле существует совершенно особенный класс форм рельефа. Они появились недавно, в наш технический век, и становятся все более распространенными. Это «изделия» рук человеческих или созданных ими же машин, которые ничего общего не имеют с искусством скульптуры, но в то же время являются искусственными формами рельефа. Это громадные, часто глубокие эксплуатационные, например, угольные карьеры, открытые разрезы, каналы, искусственные площадки и террасы на склонах, отвалы шахт и других горных выработок, воронки взрывов, выемки и полувыемки дорог и многое-многое другое, то есть формы техногенного, или, как часто говорят, антропогенного рельефа. Подобных искусственных форм рельефа на Земле становится все больше, увеличиваются их размеры, а тем самым и значение в ландшафте не только равнин и холмистых стран, но и гор.

Связанные с этим явлением весьма сложные проблемы имеют все более возрастающее значение в жизни человечества. Но это особая тема.

Еще недавно в геологии и географии было принято разделение гор на три типа по способу их образования, хотя каждый из этих способов был далеко не достаточно изучен как сам по себе, так и по связи с другими механизмами образования гор. Выделялись прежде всего горы тектонические, обязанные вздутиям земной коры, или выжиманию снизу пластичного материала (как он мог предварительно оказаться в земной коре — мы увидим ниже), или подъему вверх целых блоков земной коры по вертикальным трещинам расколов — все это под влиянием внутренних (эндогенных) сил Земли. В соответствии с такими механизмами различаются и по сей день горы сводовые, сводово-глыбовые, глыбовые и складчатые, возникшие в результате смятия в складки пород. Ко второму типу относились горы вулканические, созданные подъемом к земной поверхности горячего глубинного, жидкого или полужидкого материала и его накоплением на месте выхода. Так создавались величественные вулканы, например, Ключевская сопка на Камчатке, Фудзияма в Японии, Килиманджаро в Восточной Африке. К третьему типу относили горы эрозионные, образованные расчленением глубокими речными долинами приподнятой над окружающей местностью выровненной поверхности. Позже догадались, что эта самая приподнятость над окружающей местностью могла произойти только при активном вертикальном поднятии какой-то части земной коры под влиянием тектонических сил, а потому эрозионные горы — только некоторый частный случай гор тектонических, когда поднятие было одинаковым на большой площади, плоским и, так сказать, бесструктурным. В Средней Сибири такие горы очень широко распространены.

В настоящее время приведенная классификация гор может быть принята в основном как дань истории науки. На самом деле повсеместно при образовании гор в большей или меньшей степени действуют все механизмы: тектонический, вулканический и эрозионный. Однако и понимание работы этих механизмов углубилось и расширилось. Все это мы увидим, рассматривая строение монголо-сибирских

гор и характеризуя роль каждой из геологических сил в их создании, геологической истории в современном облике.

А теперь познакомимся кратко с историей взглядов на эти самые горы. Дело в том, что они выбраны в нашей книжке из числа других гор и горных стран вовсе не только из «сибирского патриотизма». Совсем нет. Изучение рассматриваемых здесь гор внесло очень большой вклад в науку о Земле. И этот вклад продолжает умножаться.

Уже говорилось о том, что для суждения о происхождении гор очень важно знать самый геологический материал, горные породы, которыми горы сложены. Если это слоистые осадочные породы, пусть и собранные в складки, но легко узнаваемые при сравнении с современными отложениями (так в глинистых сланцах нетрудно узнать бывшие глины, в песчаниках — окаменевшие пески, в конгломератах — гальки, сцементированные каким-нибудь веществом) и вдобавок содержащие остатки растений и животных, близких к современным, то можно безошибочно говорить, что сами такие горы образовались сравнительно недавно. Если же горы составлены метаморфическими, когда-то осадочными породами, но измененными почти до полной неузнаваемости и, значит, побывавшие на больших глубинах Земли с их высокой температурой и давлением, то это говорит скорее в пользу древности гор. Говорит, но не решает вопроса однозначно. Нужно знать еще многое. Как правило, горы как высокие участки земной поверхности, как надстройки над равнинами, геологически относительно молоды. Но здесь бывают разные вариации. Или, как говорилось выше, горы поднялись над равнинами действительно недавно и в данном месте впервые, или на месте когда-то здесь бывших и постепенно «сточенных» гор, как следствие их возрождения. Такие вопросы возникли еще в конце прошлого века перед первыми исследователями сибирских гор, прежде других перед Иваном Дементьевичем Черским и Владимиром Афанасьевичем Обручевым. Оба столкнулись с таким фактом: почти повсеместно на пути их маршрутов горы оказывались сложенными очень глубоко измененными метаморфическими и изверженными породами, прямо свидетельствующими, по представлениям того времени, о их глубокой древности.

В конце прошлого века австрийский геолог Э. Зюсс совершил для своего времени настоящий геологический подвиг. Он собрал все доступные геологические данные по земному шару, изучил и обобщил их в трехтомном сочинении «Лик Земли», в котором нарисовал первую, еще, конечно, несовершенную геологическую картину мира. Черского в то время уже не было в живых, а Обручев, переписываясь с Зюссом, сообщил ему о большой древности горных пород и самих гор Южной Сибири, подав, таким образом, мысль о какой-то особой их «биографии». Так родилась идея Черского—Обручева—Зюсса о «древнем темени Азии», о древнейшей материке, остававшемся сушей в течение последующих геологических эр, глубоко размытой, к краям которой подступали древние моря, но были не в состоянии покрыть ее своими водами. Их осадки, собираясь в складки, причленялись к «древнему темени» и таким образом постепенно создали весь Азиатский материк. Благодаря крепости, устойчивости слагавших «древнее темя» горных пород и устойчивой тенденции к поднятию оно сохранило свой горный рельеф, который, конечно, временами подновлялся. Отсюда возникли термин В. А. Обручева «возрожденные горы», а также предложенное им понятие о нестектонике, то есть новейшей тектонике,— и молодых, преимущественно вертикальных движений земной коры, создавших молодые горы из того же старого материала.

Идея «древнего темени» Азии долго пользовалась научным авторитетом, но потом подвергалась существенным поправкам, в то время как понятия «возрожденные горы» и «неотектоника» прочно вошли в науку. Так, благодарный предмет исследований, сибирские горы, и талант их первых исследователей сказались на общем развитии геологии.

Не менее велик вклад в науку о развитии земной поверхности политического ссыльного И. Д. Черского, самоучки, человека большого научного таланта. Он был предшественником В. А. Обручева, жил в то время, когда наука еще в большой мере находилась в плену метафизического мировоззрения, когда идея изменчивости, историчности всех явлений природы сводилась, в лучшем случае, к признанию внезапных перемен (катастрофы Ж. Кюве) или крайне медленных непрерывных и только количественных изменений

(Ч. Лайель). Наблюдая процессы образования долин и склонов в горах Восточной Сибири, Черский, первый в мировой науке, пришел к признанию историчности рельефа, его непрерывных, но неравномерных изменений, о смене «спокойных» периодов периодами ускоренного развития, то есть, говоря языком нашего времени, идущим от американского ученого В. Дэвиса, — к учению о циклах развития рельефа, о присутствии этому развитию закономерностей.

Наконец, как мы увидим ниже, исследования сибирских и северо-монгольских гор привело к очень важным выводам о происхождении, если можно так выразиться, об активной роли в жизни горного рельефа глубоких впадин, находящихся среди обычных гор и носящих по этой причине названия внутригорных, или межгорных. Примером их является впадина Байкала. Таковы и Минусинская котловина, котловина Больших Озер в Монголии и др. И здесь важно обратить внимание читателей на то, что происхождение и развитие гор, то есть положительных форм рельефа, неизбежно и закономерно связано с происхождением и развитием отрицательных форм — впадин. Причем каждая такая крупная впадина указывает на изменение под ней строения, а то и толщины земной коры.

Итак, образование гор и соседствующих с ними впадин — общий, во многом единый процесс, тянувшийся сотнями тысяч и миллионами лет. И совершенно очевидно, что знание жизни гор, знание их геологической истории — это вовсе не оторванная от жизни людей, как говорят, чисто познавательная, академическая задача. Прошлое гор определяет и полностью объясняет их настоящее, связанное с проявлениями стихийных сил и возникновением подчас драматических ситуаций. Через горы, а местами в тоннелях сквозь них идут существующие и строящиеся железные дороги, шоссе, линии электропередач и т. д. Горные районы осваиваются для развития промышленности, для жизни и работы людей в новых городах и поселках. Вспомним, к примеру, нашу БАМ. В горах создаются и будут создаваться наиболее мощные гидроэлектростанции. Укажем здесь на уже построенные Саяно-Шушенскую, Нурекскую. Вот насколько все это важно даже в самом общем случае.

А наш случай особый, потому что сибирские и северо-монгольские горы не просто спокойно живут,

так сказать, прозябают, на самом деле их жизнь очень напряженна, активна, содержит в себе еще много тайн и скрытых до времени угроз, к которым следует готовиться и некоторые необходимо в какой-то мере предвидеть. Об интенсивной внутренней жизни земной коры свидетельствуют прежде всего землетрясения.

Сибирские и слитые с ними воедино монгольские горы несут в себе отпечаток глубокой древности, и в то же время они очень молоды. Как понимать эти выражения во всей их научной полноте, а не только в образном сравнении с теми состояниями, которые свойственны живым существам с течением времени? На месте монголо-сибирских гор крупные возвышенности существовали еще в глубокой геологической древности, многие миллионы лет тому назад, затем они медленно разрушались, исчезали, оставляя каждый раз какие-то следы своего существования, а затем возникали опять, конечно, в новом облике, в иных очертаниях. Те горы, какие мы видим перед собой сегодня, возникли в геологическом смысле совсем недавно — самое большее 2—3 млн. лет назад, а в отдельных частях и того меньше. Вот почему мы можем говорить и о глубокой древности наших гор, имея в виду их местоположение, огромную предысторию, и об их относительной юности.

Задержимся на том, что наше зрительное, чувственное восприятие горного рельефа — его сложность, изрезанность, высота над прилегающим пространством — это одно, а высота над уровнем океана (абсолютная высота) местности — совсем другое. Понятие да и «чувство» гор целиком определяются контрастностью их вершин, их гребней по отношению к ложу долин, или предгорных низин, иными словами, — градиентом высот, исчисляемым превышением точек земной поверхности на единицу длины. Большие градиенты высот свойственны горным областям и их стыкам с пониженными пространствами, малые градиенты — равнинным областям. Так, поверхность платообразная, не имеющая горного рельефа, может находиться очень высоко над уровнем моря (плато Колорадо в Америке, плоскогорье Тибет в Азии) и, напротив, местность может обладать весьма выразительным, энергичным горным рельефом при сравнительно небольших высотах над уровнем моря (горы архи-

пелага Шпицберген, Тункинские гольцы в Прибайкалье, за свое грозное величие именовавшиеся в прошлом веке Альпами). Значит, самое главное в горах — глубина расчленения общей массы гор долинами и одновременно густота или теснота расположения тех же долин в плане. То и другое и создает любимый нами горный ландшафт, который всегда вдохновлял поэтов, художников, в котором многие народы помещали своих богов.

О том, что высота местности над уровнем океана — это совсем не главная характеристика гор, показывает изучение рельефа дна мирового океана. Над самыми глубокими местами (абиссальными равнинами), лежащими на глубинах около 4000 м, поднимаются горы до 3500 м и более. Понятно, что высота таких подводных гор не имеет никакой связи с уровнем океана, а ведь рельеф дна морей непосредственно переходит в рельеф суши, в масштабах всей планеты он как бы замкнут сам на себя, а раздел — уровень океана — только некоторый условный уровень отсчета, нуль, который, кстати, в течение геологической истории испытывал значительные вертикальные колебания.

Вспомним теперь, что наша привычка говорить о шарообразной Земле, о земном шаре — только привычка. Давным-давно известно, что наша планета сплюснута на полюсах и соответственно несколько вздута по экватору — результат ее суточного вращения вокруг оси. Эту форму называли эллипсоидом вращения, или земным сфероидом. Но ученые пошли дальше, показав, что истинная общая фигура Земли не совпадает ни со сфероидом, ни с реальной физической поверхностью планеты, если иметь в виду рельефную поверхность твердой земной коры. Геоид — урезенная поверхность, повсюду перпендикулярная направлению отвеса. Она совпадает с «невозмущенной» ветровыми, приливо-отливными и иными движениями поверхностью океана. Система идущих от моря в глубь суши каналов, если бы они могли быть прорыты, могла бы представить поверхность геоида на материках. Так же стоит ли исчислять высоту гор от поверхности геоида? Это значило бы вернуться к уровню океана как гипсометрическому нулю, исчисляя высоты со знаком плюс, а глубины со знаком минус. Но опять-таки горы на дне океана останутся горами не в отрицательном, а вполне положительном значении, так как мы будем

судить о них не по глубине моря над их вершинами, а по высоте над прилегающими подводными равнинами.

Все сказанное позволяет сделать вывод о том, что горы — это области земной поверхности, обладающие сложным и значительно (как вглубь, так и вширь) расчлененным рельефом и относительно возвышенные над прилегающими пространствами (условно для гор эту высоту принято считать от 300—500 до 1000 м. Возвышенности более низкие, но также значительно расчлененные относят к мелкосопочникам, или холмогорьям). Выходит, что горами проще всего называть надстройки над низменными пространствами, с которыми они стыкуются различным образом (см. ниже) и от которых внешне отличаются сложным расчлененным рельефом.

Монголо-Сибирская горная система находится в глубине Азиатского материка, или, как принято еще говорить, на северной окраине Центральной Азии. Южная часть этой горной системы, лежащая в пределах Джунгарии и Монголии, относится уже к самой Центральной Азии, под которой подразумевают не столько геометрическую «центральность» (самый геометрический центр Азии находится в Кызыле, столице Туркестанской АССР, где отмечен особым знаком), сколько географическое положение, определяемое большой удаленностью от морей, особым климатом, особым типом рельефа и пр. Центральная Азия — область, лишенная внешнего речного стока в океан, огражденная от ближайших морей высокими горными цепями, засушливая, в целом высоко поднятая над уровнем океана. Вместе с окружающими горами, в которых на их нагорных, обращенных к океану склонах, находятся истоки крупнейших рек внешнего стока, Центральная Азия в старой научной литературе именовалась еще Высокой Азией. К северному сегменту Высокой Азии и относится Монголо-Сибирская горная система. Если очертить в плане ее подошву, то есть показать границу с окружающими пониженными пространствами, то мы получим сравнительно сложный контур, вытянутый в общем по широте, но с местными ответвлениями, «оттяжками» как в северо-западном и почти северном, так и в северо-восточном направлении. В целом эта огромная выпуклость земной поверхности имеет, следовательно, неправильную форму в плане. Если рассматривать ее границы в более крупном масшта-

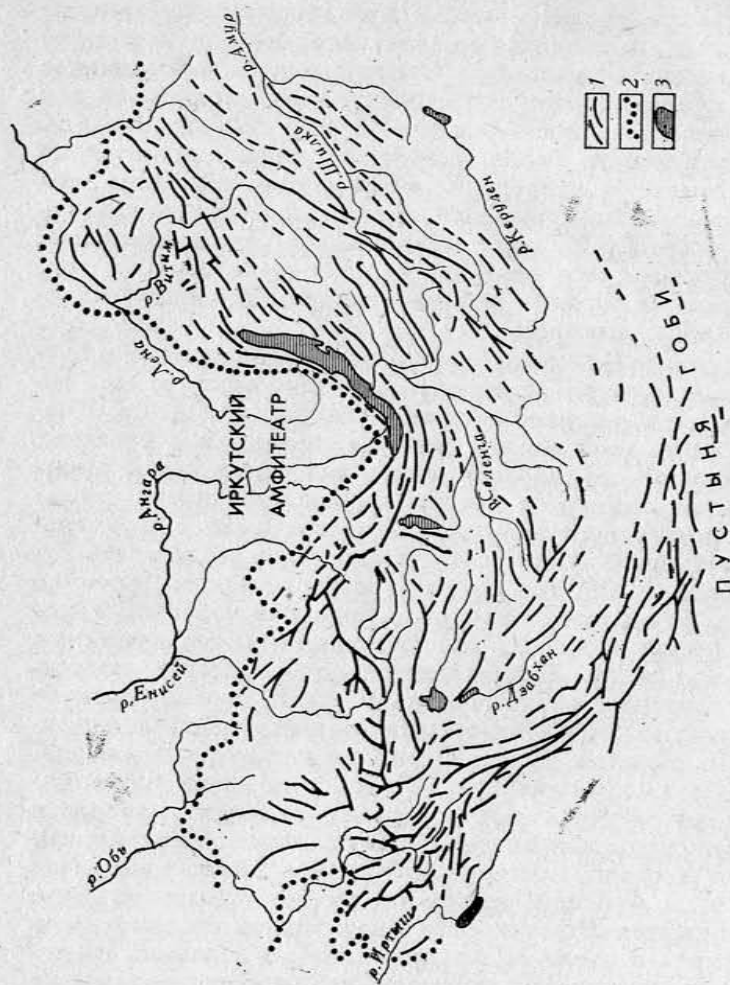


Рис. 3. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРНЫХ ХРЕБТОВ В ЮЖНОЙ СИБИРИ И МОНГОЛИИ. 1 — горные хребты. 2 — северная и северо-западная граница распространения гор, она же — зона стыка горно-складчатой области (на юге) с Средне-Сибирским плато (платформой) и Западно-Сибирской равниной (плитой). 3 — крупнейшие озера.

бе, то мы увидим, что местами они плавно закруглены и образуют выпуклые и вогнутые дуги, местами же близки к прямолинейным. Другое свойство таких границ — резкость перехода гор в одних местах в прилегающее пониженное пространство, а в других местах — плавные переходы между ними, занятые предгорьями в виде низких возвышенностей, ступеней, холмистых гряд. Разумеется, эта разница не случайна. Напротив, это одно из первых указаний на характер того геологического «механизма», который образовал горы.

С юга к Монголо-Сибирской горной системе прилегают обширные плоскогорья и равнины с их пустынными ландшафтами, а с севера, в восточной части Сибири, — Средне-Сибирское плоскогорье — это обширная страна, лежащая между средним — нижним течением Енисея на западе и хребтами Восточной Якутии на востоке. Средне-Сибирское плато, или плоскогорье, очень отчетливо, но не везде одинаково резко стыкуется с северными склонами Монголо-Сибирской горной системы.

Рассмотрим теперь в общих чертах внутреннее строение нашей горной системы. Оно довольно сложно, как сложен и внешний контур системы в целом. Внутри этого контура мы найдем и отчетливо выраженные горные цепи, и линейно вытянутые хребты, отдельные, не очень ясно связанные с окружающими горами массивы, плоскогорья, скопления гор без ясно выраженной ориентировки по странам света и, наконец, предгорные и междугорные впадины, построенные более или менее линейно и орошенные горными реками. Если не принимать во внимание север Таймырского полуострова — горы Бырранга, а также хребты Восточной Якутии — Верхоянский и другие, непосредственно не связанные с Монголо-Сибирской системой, то мы увидим, что Северную Азию составляют, во-первых, Западно-Сибирская равнина, во-вторых, уже упоминавшееся Средне-Сибирское плоскогорье. Это две плоские страны, образующие как бы две ступени, стыкующиеся в направлении меридиана, приблизительно по долине Енисея, низкая западная и приподнятая восточная. Западная именуется Западно-Сибирской плитой, восточная — Сибирской платформой. Оба названия указывают на обширную, ровную, а то и плоскую их поверхность. Мощные тектонические го-

ры отсутствуют и там, и там. Но их возраст различен. Свою устойчивость, малоподвижность и вследствие этого уплощенность плита и платформа приобрели, покрывшись чехлом спокойно лежащих слоев осадочных пород в разное время. На платформе процесс образования чехла начался еще в самом конце протерозойской эры, в рифее, на плите — только в мезозое. Чехол платформы лежит на очень древнем рифейском и протерозойском фундаменте, повсеместно складчатом, состоящим из метаморфических пород, срезанных в основании чехла поверхностью древнейшей равнины. Чехол плиты лежит на фундаменте, состоящем из пород преимущественно палеозойского возраста. Там, где на юге платформа и плита примыкают к северным подножьям сибирских гор, фундаменты выходят на поверхность, и весь ландшафт сразу меняется, рельеф становится гористым. При этом может возникнуть мысль, что именно твердостью, крепостью кристаллических и метаморфических пород фундамента, вышедшего на поверхность, можно объяснить все эти перемены. Но, оказывается, нельзя. Произошло резкое повышение самой поверхности фундамента, а чехол над ним постепенно или сразу исчез, причем мы его не найдем и дальше на юг, в глубине гор, во всяком случае в прежнем виде. Поскольку никакие внешние силы не могут объяснить эти факты, необходимо видеть в них результат действия глубинных, внутренних сил.

Рассматривая дальше северный контур гор, мы видим, что в одном месте, а именно в районе Иркутска, его линия сильно изгибается к югу, образуя как бы «залив» Сибирской платформы в глубь горы. Это место, да и само явление, как мы сейчас увидим, представляет особый интерес. «Залив», или «клин», платформы, суживаясь к югу, разделяет горы на два крыла, внутри которых подошва гор и внутренние хребты тянутся на северо-запад в одном крыле и на северо-восток — в другом. Произошел ясный перелом в строении гор примерно на 105-м меридиане. И если к западу от него простирается гор будет много раз изменяться (СЗ, С, В), то простирается на северо-восток мы почти не найдем, оно не будет определять плановый рисунок здешних гор (Саянских, Тувинских, Кузнецкого Алатау, Горной Шории, Алтая). Господствующее

здесь северо-западное направление гор издавна называют саянским или восточно-саянским.

К востоку от Иркутска располагается северо-восточное крыло горного обрамления «клина» нашей платформы, которое называют Байкальским в честь оз. Байкал, вытянутого в этом направлении. В Байкальском крыле простирается северо-западные почти отсутствуют, а наряду с северо-восточными получают развитие широтные (З—В). Как бы обтягивая тугим обручем клин платформы в верхних течениях Ангары и Лены, здешние горы, сходящиеся в одной точке (исток Ангары), своим подковообразным рисунком дали Э. Зюссу повод назвать весь этот район Иркутским амфитеатром, что хорошо соответствует его форме не только в плане, но и в профиле. Против полукружья с сиденьями в древнегреческих амфитеатрах располагалась плоская сцена. В нашем случае это тоже довольно плоское и наклоненное на север так называемое внутреннее поле Иркутского амфитеатра.

Если мы теперь мысленно двинемся на юг вдоль Иркутского меридиана, то обнаружим, что и в Монгольской Народной Республике и во Внутренней Монголии его значение как некоей биссектрисы еще долго сохраняется. Только крутизна сходящихся орографических линий при движении на юг уменьшается, угол между ними расширяется и превращается в пологую дугу. Грубая симметрия в расположении гор по обе стороны Иркутского меридиана тоже меняется. На территории СССР, в Прибайкалье, лучше, мощнее развита восточная часть системы с ее байкальскими и близширотными простирациями, а в Монголии при движении к югу эта часть как бы слабеет, а лежащая напротив западная часть с ее саянскими и другими простирациями гор становится очень развитой и мощной. Здесь ее представляют нагорье Хангай, хребты Монгольского и Гобийского Алтая, Гобийский Тянь-Шань и Бэйшань.

Мы заняли внимание читателей особенностями планового расположения монголо-сибирских гор не для того, чтобы сейчас же ответить на все возникающие при этом «почему это так?» Многие здесь еще не разгадано или находят себе разное объяснение со стороны разных ученых. Но все же на некоторые из подобных вопросов мы постараемся ответить.

Обратим прежде всего внимание на вещественную

(2875 м над уровнем моря) и Топографов (3044 м), хребты и кряжи расположены очень разнообразно, как бы беспорядочно.

Таким образом, общие, видимые в плане черты горного рельефа Алтае-Саянской горной страны показывают, что их внутреннее строение, то есть геологическое строение древних толщ горных пород, из которых эта страна построена, и новейшая структура, обусловленная новейшим горообразованием, создавшим ее современный облик, весьма различны в разных частях горной страны. В то же время нельзя не обратить внимание на то, что эта страна достаточно тесно (внешне — с помощью переходных орографических линий) увязана с соседними горными областями в единую систему.

Монгольский Алтай — система мощных хребтов, внутренняя геологическая структура которых определена складками и разломами, созданными в раннем палеозое. Они определяют северо-западное простирание хребтов. Южнее с некоторым переломом тянется Гобийский Алтай, геологическая основа которого сформирована в основном в среднем палеозое. И здесь легко заметить близкое соответствие простирания среднепалеозойских складок, древних, а также и позднейших разломов и почти широтной ориентировки Гобийского Алтая. В Алтае-Саянской области мы видим ту же картину, более того, видим ее везде, во всех частях Монголо-Сибирского поднятия. Если переступить в Восточный Саян, его ориентировка тоже соответствует основным древним, палеозойским и допалеозойским, складкам, древним и молодым разломам. То же самое общее, всюду заметное соответствие главных линий рельефа и геологических структур видим мы и в Байкало-Становом крыле нашей системы с его северо-восточными и близширотными простираниями, в хребтах и межгорных впадинах Прибайкалья, Забайкалья, Хэнтэйского нагорья.

Нельзя, однако, и это противоречило бы действительности, считать, что древние складчатые структуры и древние разломы определяют до конца, абсолютно и без исключений, внешние контуры и общее внутреннее устройство нагорий и горных стран. Совсем нет. И в случае монголо-сибирских гор особенно. Горы эти повсеместно относятся к классу возрожденных, а возрождение их осуществлялось глубинными силами и

деформациями земной коры, вызывавшими пологие, почти плоские, так называемые сводовые поднятия с большой площадью охвата. Пластические на глубине, эти деформации вблизи земной поверхности, обычно на глубинах менее 10 км, разрешались разрывами, проходившими как по старым разрывным швам, так и по новым направлениям, «по живому телу» в тех случаях, когда вектор новых глубинных сил не соответствовал направлению благоприятных скалывающих усилий. Направление такого вектора могло и может очень сильно отличаться от направления древнего силового поля. Тогда как бы незакономерно по отношению к внутренней древней структуре данного участка земной коры в ней возникают разломы и смещения горных масс, так сказать, дисгармонирующие с этой внутренней структурой. Так образуются тупые, «рваные» окончания, торцы, «обрезы» гор, контуры становятся угловатыми. Все это означает лишь, что плановые очертания гор подчиняются ограничениям, связанным как с основной, древней структурой их материала, так и с «наложенными» на эту структуру новыми, более молодыми деформациями, или, как чаще говорят геологи, более молодыми дислокациями. Но роль последних в горообразовании, особенно когда оно идет по пути возрождения, появления новых гор на месте старых, обычно совершенно особая. Молодые дислокации земной коры не просто влияют на внешние контуры и внутреннее строение горных стран, они создают, формируют их прямо и непосредственно. В более податливых или более благоприятно ориентированных к действию нового силового поля толщах горных пород усиливаются старые или появляются новые изгибы, из жестких неподатливых толщ в прямом смысле слова выкалываются блоки гигантских размеров. При общем поднятии и даже очень слабом изгибе сводовой части коры связь между такими отдельными блоками может быть очень ослаблена, и они будут двигаться относительно независимо друг от друга. Направление этого движения будет зависеть от разных причин. Во-первых, от направления сил, создавших общую сводовую деформацию земной коры, то есть сил вертикальных и направленных вверх. Во-вторых, от положения в пространстве поверхностей и плоскостей трещин разломов, ограничивающих блоки, — вертикального, наклонного в ту или иную сторону.

В-третьих, движения блоков коры, формирующиеся из них горы, будут оставаться как бы под постоянным контролем поля силы тяжести. Возможна, например, ситуация, когда при дифференцированных близвертикальных перемещениях отдельные блоки будут «терять почву под ногами» и соскальзывать на какое-то расстояние вниз под влиянием их собственного веса. В природе все эти условия составляют разные комбинации, и в итоге кинематическая картина горообразования по описываемому типу может быть очень сложной, запутанной, и разобраться в ней на месте порой очень трудно.

Теперь коснемся еще одного важного вопроса — происхождения гор вообще. Во-первых, выяснено, что большая часть гор образуется сравнительно быстро — в единицы и десятки миллионов лет. Это полностью относится и к горам типа возрожденных. Если, образовавшись, горы перешли затем в стадию разрушения, и мы наблюдаем их именно в таком состоянии, то, значит, первоначальный механизм горообразования перестал работать. Впрочем, для такого вывода нужны веские основания — знание основных страниц летописи гор. Но вот кто же летописец истории гор и что такое сама такая летопись? Ведь горы с течением геологического времени, медленно разрушаясь под влиянием различных внешних сил, постепенно снижаются и могут, как мы видели выше, понемногу преобразоваться в холмистую страну, а если дело пойдет таким образом и дальше (а таких случаев в геологической истории Земли мы знаем немало), то и в волнистую равнину. Можно представить себе и такой крайний случай, да и не только представить, а прочитать о нем в той самой летописи, когда такая равнина, возникшая на месте как бы скрытой до корней горной страны, будет затоплена морем, причем по мере затопления, то есть медленного перемещения береговой линии моря в глубь континента, прибой волн — почти непрерывно действующая сила — постепенно срежет все остатки прежних, так сказать, остаточных неровностей. И тогда на месте наших гор окажется морское мелководье с ровным, постепенно углубляющимся в сторону моря дном.

Что же дальше? Где та самая летопись, о которой мы только что говорили?

Геологи единогласно утверждают, что история Зем-

ли записана в камне, и отсюда идет образное выражение «говорящие камни». Более того, сейчас мы без всякого сомнения утверждаем, что история других планет тоже записана в их камнях. Прежде всего это относится к нашей соседке Луне. Вспомните, что образцы лунного грунта, доставленные на Землю космическими аппаратами, позволили установить не только более древний возраст пород, слагающих светлые лунные пространства, и более молодой возраст обширных лунных впадин, так называемых морей, но выявить возраст всей Луны как планеты (более 4 млрд. лет). И было бы странно, если бы мы не сумели прочесть историю Земли, ее поверхности и, следовательно, гор с помощью множества разнообразных «говорящих камней», которые в наших руках. Так давайте попытаемся вместе прочесть в общих чертах историю какой-нибудь воображаемой, но совершенно подобной тем, что есть на Земле, горной страны.

Мы видели выше, что горы никогда не образуются из ничего. Они порождаются вертикальными силами того или иного происхождения, воздымающими земную кору над соседними пространствами. Если так, то уже первые обширные низкие выпуклые неровности Земли станут ареной действия разрушительных сил, питаемых энергией Солнца и действующих через разнообразные механизмы, заключенные в атмосфере, биосфере и гидросфере. Земная кора в нашем примере будет продолжать медленно выпячиваться, а экзогенные силы — усиливать свою встречную разрушительную работу. Как установил знаменитый Вильям Дэвис: рельеф горной страны будет, если тектоническое поднятие прекратилось (хотя, конечно, только в идеале), постепенно проходить через разные стадии — от юности до дряхлости, снижаясь и меняя свой облик. Но снижение рельефа гор и изменение их вида — это ведь не только и не просто разрушение, но еще движение разрушенного материала со склонов всех и вся неровностей горного рельефа в виде обвалов, оползней, течений во влажном виде, осыпей, срывов и очень медленного, не приметного глазу повсеместного сползания даже на очень пологих склонах. Сила тяжести действует всегда и повсюду, и все дело в транспортной среде, увлекающей рыхлый материал вниз по склонам. Эту роль выполняют вода в твердом и жидком виде, воздух, прямое непосредственное падение вниз обломков,

почему-либо лишенных опоры. Сущность явления проста: рыхлый материал создается из связных прочных пород силами выветривания. Становясь удобоподвижным (в виде обломков или растворов), он движется вниз тем или иным способом и наконец отлагается в подходящих местах на более или менее ровной поверхности. Все это легче наблюдать в реках: в верховьях они размывают горные породы, затем волокут их обломки вниз по течению (чем быстрее течение, тем более крупные обломки передвигаются — вплоть до крупных валунов) и наконец отлагаются в участках замедленного течения и в самых устьях рек. В последнем случае, если принесенный рекой рыхлый материал не захватывается другой лентой эрозионного конвейера — другой рекой или не попадает под власть береговых течений конечного водоприемника, в который впадают реки, то есть в озере или море, то весь принесенный материал сгруживается, образуя дельту. Очень большие реки (Волга, Лена, Миссисипи, Ганг, Нил и другие) образуют огромные дельты.

Мы остановились на этих вопросах, в общих чертах известных читателям, чтобы еще раз показать, что разрушение гор внешними силами включает в себя вынос из гор разрушенного материала и отложение его где-то за их пределами. Изъятие материала из гор с необходимостью завершается его накоплением в другом месте. А так как этот материал рыхл, подвижен, поступает и накапливается постепенно, то сам процесс его отложения ведет к образованию плоских или слабо волнистых пространств, то есть предгорных равнин. Перефразируя закон сохранения материи, можно сказать, что вещество гор, претерпевая трансформацию и перемещение на более низкие уровни, здесь не пропадает, а создает слои новых геологических напластований, выравнивает поверхность Земли и, следовательно, выполняет новую, другого качества, огромную созидательную геологическую работу.

Вот в чем заключается летопись истории гор. Каждый пласт, слой на предгорной равнине есть плоть от плоти и вещества, и рельефа гор. Рельефа потому, что только при наличии склонов определенной крутизны материал измельченных горных пород, подготовленный выветриванием, мог двигаться вниз по самим этим склонам, по руслам рек и выноситься за пределы гор. Вот почему слои щебней, галек, гравия, песка и т. д.

(часто это тела небольшого протяжения в виде лепешек или линз, выклинивающихся и как бы замещающих друг друга, но в целом всегда залегающие одно над другим) можно с полным правом уподобить страницам геологической летописи. Ее нужно читать так же, как и книгу, с начала к концу, то есть с самого низа накопившейся толщи слоев до самого верха. И в каждом слое опытный геолог найдет, пусть и очень малую, крупицу информации об истории гор — их росте, снижении, быть может, новом подъеме, новом снижении и т. д. Обо всем этом будут рассказывать толщина, строение слоев, их, как выражаются геологи, выдержанность по площади, крупность и окатанность обломков, характер слоистости и многое, многое другое.

Наши читатели вправе возразить, что ведь сток рек, их транспортирующая способность меняются даже в разные сезоны, тем более такие условия непостоянны в многолетнем разрезе, ибо сам климат подвержен большим, а то и радикальным переменам, как это было, например, в ледниковые эпохи. Читатели правы, все это верно. Но верно и то, что глубокие и длительные перемены в величине стока рек, изменения климата, доходящие даже до сильного похолодания и оледенения высоких частей гор, также оставляют свои характерные следы в строении, мощности и составе предгорных накоплений, что они тоже войдут в летопись.

Разумеется, необходим немалый опыт и знания для чтения летописи гор по таким коррелятным, то есть соответственным, связанным с горным рельефом отложениям. В самой летописи всегда есть отсутствующие страницы — часть слоев обычно отсутствует из-за местного размыва и других причин. Нужно, наконец, найти места, где сами страницы летописи гор обнажаются на поверхности, где мы можем их видеть и читать. Все так, все верно. Но все же, пользуясь различными методами геологии, мы и в таких трудных случаях сможем разобраться хотя бы в главном — истории гор.

Таким образом, горы тоже имеют свою судьбу, и о ней мы можем узнать из геологической летописи. Все сказанное имеет силу для гор самого различного происхождения. Понятно, мы лучше знаем прошлое и настоящее современных гор. Можем отчасти предви-

деть и их будущее. Счастливой, как и несчастливой, судьбы у гор не бывает, как ее не бывает вообще у всей так называемой мертвой природы. Но, коротко говоря, счастье — это ведь радость бытия. И если все же применить такую метафору, то самые «счастливые» — горы возрожденные, поскольку они, разрушаясь, через какое-то время вновь создаются на прежнем месте. Бытие их продолжается на новой основе и в новое время, подобно птице Фениксу, которая, по поверьям древних, сгорая, вновь рождалась из своего пепла.

ДЕТСТВО ЗЕМНОЙ КОРЫ

*Первоначала вещей, разумеется, вовсе невольны...
Но многократно свое положение в мире меняя,
От бесконечных времен постоянным толчкам подвергаясь,
Всякие виды пройдя сочетаний и разных движений,
В расположениях они, наконец, попадают, из коих
Вся совокупность вещей получилась в теперешнем виде.*

Т. Лукреций Кар. О природе вещей.

Что же мы знаем о первых страницах истории земной коры? От какого рубежа ведет свое начало каменная летопись Земли и насколько верно геологи сумели ее прочесть? Откуда начинаются первые страницы геологической истории земной коры? Разобраться во всем этом следует по порядку.

В начале книги была приведена таблица геологической хронологии. Вернемся к ней. Показывая подразделения геологического времени, эта таблица говорит и о том, насколько мы знаем и умеем измерить продолжительность новейших периодов по сравнению с древнейшими, хотя длительность вторых гораздо больше. Почти 3,5 млрд. лет приходится на докембрий, что составляет более 3/4 продолжительности жизни Земли. Не говорит ли это о том, что первые три с лишним миллиарда лет эта жизнь протекала однообразно, равномерно и поэтому не оставила о себе приметных вех? Или мы просто не сумели до сих пор прочесть историю Земли в эти первые миллиарды лет? Справедлив второй ответ. Многие вехи геологической юности земного мира полностью стерты или скрыты от нас. Это первое. Второе — для изучения древнейшей истории Земли нужны особые приметы, особые методы.

Найти ключ к расшифровке геологических иероглифов ученые долго не могли. Да и сейчас еще не все двери далекого прошлого Земли открываются этим ключом.

Как возникла идея «о древнем темени» Азии? Выше уже рассказывалось, что И. Д. Черский и за ним В. А. Обручев и получавший от Обручева письма Э. Зюсс убедились, что в Южном Прибайкалье древние породы почти повсеместно выходят на земную поверхность. Прикрытые маломощными наносами песков, галечников, глин, они только местами, особенно по краям больших котловин, уступают место осадочным, во многих случаях угленосным отложениям, сцементированным до степени песчаников, каменистых глин, конгломератов. Какой контраст с древними породами, которые то слоисты, то массивны, то нацело замещены изверженными породами и всегда кристаллически, что указывает на полное изменение вида и состава первичных пород, то есть на их глубокий метаморфизм! Породы эти, кристаллические и метаморфические сланцы, только своим сложением напоминающие обычные осадочные гнейсы и переходные к гранитам гранито-гнейсы и мраморы, слагают толщи огромной мощности. Их расчленение и выделение из них отдельных пластов, смятых, скрученных в складки, разорванных или вдавленных друг в друга, похожих по форме то на слои, то на линзы, связано с большими трудностями, а в прошлом веке, как и в первые десятилетия нашего века, считалось даже и неразрешимой задачей. Поэтому метаморфические толщи показывались на старых геологических картах одним цветом (малиновым, розовым) и обозначались буквой М, то есть как метаморфические. На них в разных местах земного шара залегают фанерозойские отложения. Что залегает под метаморфическими толщами — до сих пор никому точно не известно, но так как абсолютный возраст древнейших из них, обнаруженных на Земле, 3,6—4,0 млрд. лет, а возраст Земли как планеты сейчас оценивается по различным, неоднократно проверенным данным (что неудивительно в наш космический век) около или несколько более 4 млрд. лет, то основание (подошва) докембрийских толщ должно в какой-то мере соответствовать по времени началу развития земной коры. Однако более чем вероятно, что самые низы докембрийских толщ в значительных

объемах были давно переплавлены и превращены в граниты.

Громадные массивы гранитов и более мелкие их тела, типа послойных инъекций в кристаллических сланцах и гнейсах, заключены по всему разрезу докембрийских толщ. Эти кислые, то есть богатые SiO_2 , полностью кристаллические породы (слово «гранит» означает «зернистый») свидетельствуют о том, что образовались они при очень высоких температурах, при сложных физико-химических реакциях. Граниты можно в первом приближении разделить на интрузивные, т. е. внедренные в древние толщи в виде расплава горячего геологического «теста» (магмы), и метасоматические, возникшие на месте путем перераспределения и перекристаллизации вещества древних толщ, но также с привнесом ряда элементов, как полагают, снизу, из верхов мантии. Для того чтобы произошла «гранитизация» метаморфических пород с их разнообразными химическим и минералогическим составом в виде массовых инъекций, своего рода впрыскиваний гранитного вещества в окружающие породы, частичная переплавка их на месте или, наконец, гранитизация сплошным фронтом, нужен вынос из глубин таких элементов, как калий, натрий, кремний. И если в настоящее время, изучая выходы коренных пород, мы видим давно законченный результат этих процессов в виде гранитов, гнейсов, мигматитов, образование которых закончилось сотни и даже 2—3 тысячи миллионов лет тому назад, то встает вопрос о том, что же было до этой самой гранитизации, какова была древнейшая, первичная земная кора? Это один из самых трудных вопросов геологии и по сей день окончательно не решенный. Поскольку возраст Луны, как указывалось, 4 млрд. лет и более, а древнейшие горные породы с возрастом 3,8 млрд. лет, найденные пока на Земле, имеют вторичный характер, то есть преобразованы из пород более древних, то и Земля, без сомнения, не моложе своей соседки Луны. Вот только Земле больше повезло: благодаря большей, чем у Луны, массе, она смогла удержать газовую и жидкую оболочки, на ней развилась биосфера.

Все время существования Земли можно разделить на две части: первую «астрономическую», не оставившую нам геологических свидетельств, и «геологическую» с ее, пусть и недостаточно полной, каменной ле-

тописью. Существовавшие при этом события — вот что нужно знать в первую очередь. Понятно, что такой, самый удаленный в глубь времен путь познания очень нелегок и далеко еще не пройден. Мы можем быть уверены только в том, что после своей аккреции (соединения или слипания первичных космических тел в единую планету) и расплавления под влиянием сжатия и концентрации радиоактивных элементов Земля не могла не покрываться корой охлаждения, состоящей из первичного космического вещества. Кора, вероятно, неоднократно взламывалась вулканическими газами, вновь плавилась и застывала. Распределение вещества по его весу в поле силы тяжести (гравитационная дифференциация), накладываясь на химические процессы, с неизбежностью привело к расслаиванию Земли на отдельные оболочки. Но начало «геологической» стадии — это также образование первичной атмосферы и гидросферы, создание озонового экрана, защитившего поверхность планеты от смертоносных ультрафиолетовых лучей, и создание условий для возникновения и развития жизни. То, что жизнь на Земле возникла на первичной коре и в первичном океане, сейчас доказано. В древнейших толщах Земли обнаружены породы явно органического происхождения. 3,5 млрд. лет назад Земля уже жила «жизнью живых существ», конечно, еще весьма примитивных. Их остатки входили в состав первичных осадочных пород, а значит, уже существовали возможности для измельчения более древних «коренных» пород, их выветривания, разложения и транспортировки вниз по уклонам рельефа и накопления осадков в первичных бассейнах.

Геология, хотя и выросшая из нужд горного дела, одного из первых «умений» человека, наука очень молодая. Она смогла стать на ноги только опираясь на достижения астрономии, географии, физики и химии, а твердо закрепила свои позиции лишь научившись разбираться в составе и происхождении горных пород, причем вначале относительно молодого возраста, содержащих окаменелости организмов, как документы о времени их «рождения». Но еще несколько десятков лет назад геологи останавливались в нерешительности, почти в смущении перед толщами докембрия. Горняки давным-давно научились извлекать из этих толщ золото, железо и ряд других металлов, геологи же,

что называется, разводили руками. Им было ясно одно: породы глубокого (раннего) докембрия, видимые нами в современных разрезах современной земной коры, образовались путем глубочайших изменений каких-то иных первичных пород. Местами они как бы сохраняли первичную слоистость пород осадочных в виде грубой «полосчатости», но она, оказалось, могла образоваться и иным путем, например, колоссальным сдавливанием, спрессовыванием и рассланцеванием на больших глубинах. Никаких следов жизни в этих породах не находили, а подозрительные в этом смысле находки назывались «проблематикой». В каких действительных термодинамических условиях образовались породы докембрия, из какого первичного материала, каким способом, в каких бассейнах и почему породы древнего докембрия находятся повсюду только в очень метаморфизованном состоянии — все это оставалось неясным. Постепенно в головах геологов, не только русских, но и зарубежных, возник своего рода психологический барьер, гласящий о весьма относительной познаваемости докембрия как стадии жизни Земли и как многокилометровых по мощности горных пород, не только входящих ныне в состав земной коры, но и ставших когда-то ее основой. Мировая геология очень мало знала обо всем этом, редкие исследователи обращали на это специальное внимание.

Как мы уже указывали, перелом наступил только 30—40 лет тому назад, и в нем очень большую роль сыграла Сибирь. В пределах старой России, а затем СССР массовые выходы на поверхность толщ докембрия известны во многих местах — на Украине, в северо-западной части советского Европейского Севера, в Восточной Сибири и на Северо-Востоке СССР. В Восточной Сибири докембрий почти повсюду на огромном пространстве между Енисеем и Леной находится под чехлом спокойно лежащих кембрийских осадков. В двух местах толщ раннего докембрия обнажаются из-под известнякового кембрийского покрова и слагают так называемые щиты, или массивы, — Анабарский и Алданский. К северу от Ленинграда расположен Балтийский, а на юге Украины — Украинский архейские щиты. Названия щиты, или массивы, подчеркивают, что сплошные, занимающие значительную площадь выходы древнейших пород играют в общей структуре земной коры особую роль. Это особенно ус-

тойчивые, жесткие, как говорят геологи, консолидированные древнейшие части материков, состоящие из наиболее древних, глубоко и многократно метаморфизованных пород архея и отчасти и протерозоя, пронизанных гранитами и другими глубинными изверженными породами. Именно породы щитов показывают нам, из чего состоит гранитно-метаморфический слой, о котором не раз говорилось выше. Именно этот средний слой земной коры, выступая из-под размытого над ним осадочного, верхнего слоя коры в виде «окон», образует древние щиты, массивы материков. Для того чтобы произошло такое обнажение гранитно-метаморфического слоя земной коры из-под слоя осадочного, нужно было, понятно, его длительное поднятие и освобождение от верхней, более молодой осадочной крышки силами выветривания, размыва и выноса разрушенного материала за пределы щита. Поскольку же само поднятие гранитно-метаморфического слоя создавало на земной поверхности обширную, но невысокую выпуклость (еще одна черта щита), а размыв осадочного чехла шел неравномерно, в зависимости от многих менявшихся палеографических условий, то и современные геологические границы щитов выглядят на картах довольно прихотливо. Щиты — это фундаменты древних платформ.

Повсюду на щитах на земную поверхность из-под новейших наносов выходят древние и древнейшие метаморфические толщ, состоящие из гнейсов, кристаллических сланцев, известняков и мраморов, большая часть которых имеет полосчатую текстуру, сжата в складки разных порядков, нередко разорвана, причем места разрывов в них также заполнены кристаллическим веществом. Эти то тонко, то грубо расслоенные толщ пронизаны и большими сплошными массами и насыщены бесчисленными параллельными жилами и жилками гранитов. С такими толщами мы уже встречались в первой главе. Изучение их показало, что почти все эти породы — продукт сильного и сильнейшего метаморфизма некогда осадочных пород, относившихся, как и осадочные толщ позднейших времен, к группе глинистых, песчаных и известковых. Их чрезвычайно высокий метаморфизм достигал, что называется, полного расплавления и гранитизации. По ведущим минералам, как бы индикаторам условий наиболее глубокого метаморфизма — граната и амфибо-

ла, — подобные породы относятся к гранулитовой и амфиболовой фациям, то есть наиболее высокотемпературным обстановкам. Таким образом, в пределах всей доступной нам изученной глубины второй слой земной коры генетически, то есть по первоначальному составу и условиям образования, 3—3,5 млрд. лет тому назад тоже был осадочным и, вероятно, создавался при участии древнейшей биосферы.

Чтобы попасть на Анабарский щит, нужно и в наше время совершить целое путешествие. Более доступен, скажем, из Иркутска Алданский щит в Южной Якутии. Зато совсем просто посетить краевой выступ фундамента Сибирской платформы в Южном Прибайкалье. Этот выступ, обнаженный на берегах Байкала начиная от истока Ангары, называют Шарыжалгайским в честь небольшой пади и маленькой станции Шарыжалгай между станциями Байкал и Кутулик.

Проходящий здесь по самому берегу Байкала участок так называемой Кругобайкальской железной дороги замечателен во многих отношениях. В него вложили свои дары не только природа, но и наша отечественная история — эпоха предреволюционного освоения Сибири. 90-километровый участок железной дороги здесь на большом протяжении либо прямо проходит над Байкалом по нависающим над ним почти вертикальными обрывами 250—300 м высотой, либо пробит в крепчайших породах архея с помощью 36 тоннелей и 52 галерей. Ничего подобного нет нигде в мире. Дорогу эту строили в самом конце прошлого и самом начале нашего века русские рабочие и инженеры, строили, не имея ни современной техники, ни современной взрывчатки, и построили так, что и сейчас все удивительное сооружение выглядит, как новое. Тоннельный участок Кругобайкальской железной дороги — подлинный памятник русского строительного искусства. Даже за рубежом его называли одним из трех чудес истории всемирного транспорта наряду с плаванием Колумба через Атлантический океан и открытием Америки и сооружением Суэцкого канала. Сейчас здесь ходят лишь рабочие поезда. Экскурсия пешком позволяет познакомиться здесь с гигантскими обнажениями пород архея, но при этом требует некоторой смелости и осторожности. Шарыжалгайская серия высокометаморфизованных пород срезана обры-

вом Приморского плато, и этот обрыв, за который словно уцепилась железная дорога, уходит на сотни метров в глубь Байкала.

Наблюдателю, лишь поверхностно знакомому с геологией, трудно понять что-либо в обнажениях шарыжалгайской серии. Только редкие вертикальные жилы базальтов — подводящие корни молодого вулканизма, о котором выше рассказывалось, да линзы и блоки кристаллических известняков здесь говорят, так сказать, сами за себя. Основной объем толщи, кажущейся грубополосчатой, слоистой, какое-то смешение признаков пород осадочных, осадочно-метаморфических и изверженных. Здесь все первичное вещество подверглось сильнейшему изменению на больших глубинах, при очень высоких температурах и огромных давлениях. А вот сейчас мы видим их прямо перед собой на земной поверхности, видим сильно раздробленными, трещиноватыми. Какой контраст между той средой в глубинах земной коры, где толща архея на заре геологической истории была мета- и даже ультраметаморфизована, и той средой на берегу Байкала, полной воздуха, воды и света, где мы видим ее сейчас! И тут становится очевидно, что древний архей был когда-то поднят с больших глубин тектоническими силами до поверхности и, поднимаясь, постепенно обнажал свое внутреннее строение. Картина, открывающаяся здесь, — простое и прямое следствие тех «юных движений на древнем темени Азии», о которых мы уже рассказывали. Шарыжалгайская серия, состоящая из различных кристаллических сланцев и гнейсов, мраморов и кальцифиров, амфиболитов, испытала сильнейшую гранитизацию, неоднократную перестройку своей внутренней структуры под действием тектонических сил.

В районе Слюдянки и на склонах хребта Хамар-Дабан, что обрамляет впадину Байкала с юга, распространены породы более молодой, чем шарыжалгайская, но также относящейся к древнему докембрию Слюдянской серии. Абсолютный возраст ее пород — около 2 млрд. лет против 2,6—3,0 млн. лет, определяющих, по новейшим данным, возраст шарыжалгайской серии. Огромная обнаженность, «раскрытость» Байкальского древнего докембрия в этом районе, близость и доступность к научным центрам делает его одним из главных объектов внимания сотруд-

ников Института земной коры, изучающих древнейшие толщи Восточной Сибири.

Как же понять тот твердо установленный факт, что, начиная с «базальтового» слоя и во всяком случае с поверхности Мохоровичича и глубже, состав вещества недр существенно меняется — оно становится тяжелым и основным, бедным кремнекислотой, обогащаясь железом, кальцием и магнием, в то время как в осадочной и гранитно-метаморфической оболочке коры преобладают более легкие кислые и очень кислые породы, богатые щелочами. Уже очень давно геологи различали в составе коры кислый слой «сиаль» (силиций+алюминий) и подстилающий слой «сима» (силиций+магний), подчеркивая ведущую роль различных элементов на разных глубинах Земли. Мы уже видели, что самым распространенным представителем основных пород вулканического происхождения являются базальты. Их очень много на земной поверхности, но все они поднялись из глубоких, внутри- и даже подкоровых очагов. Но в осадочную и гранитно-метаморфическую оболочку коры местами внедрены еще более основные, еще более бедные кремнекислотой изверженные породы, представленные многими разновидностями — перидотитами, гарцбургитами и др. Геологи называют эти породы ультраосновными, или гипербазитами (сверхосновными). Ими сложена верхняя мантия. Из них при особых термодинамических условиях, как установлено, могут выплавляться базальты.

В отдельные промежутки геологической истории базальты изливались огромными массами на поверхность или проникали в осадочные толщи. Так, между прочим, в пермско-триасовое время образовались в Восточной Сибири сибирские траппы — основные изверженные породы, занимающие огромные площади и объемы на Средне-Сибирском плато.

В современную эпоху вулканические излияния базальтового состава продолжают преобладать на суше и в море. Поднимаясь из глубоких, подкоровых очагов, базальты выносят в себе включения ультраосновных пород — прямых вестников мантии. Все это говорит о господстве в низах коры и под корою тяжелого основного вещества, имеющего мало сходства с тем, что составляет верхние части земной коры. А поскольку кора лежит на мантии, подвергаясь ее воздействию



Типичная горная долина Прибайкалья



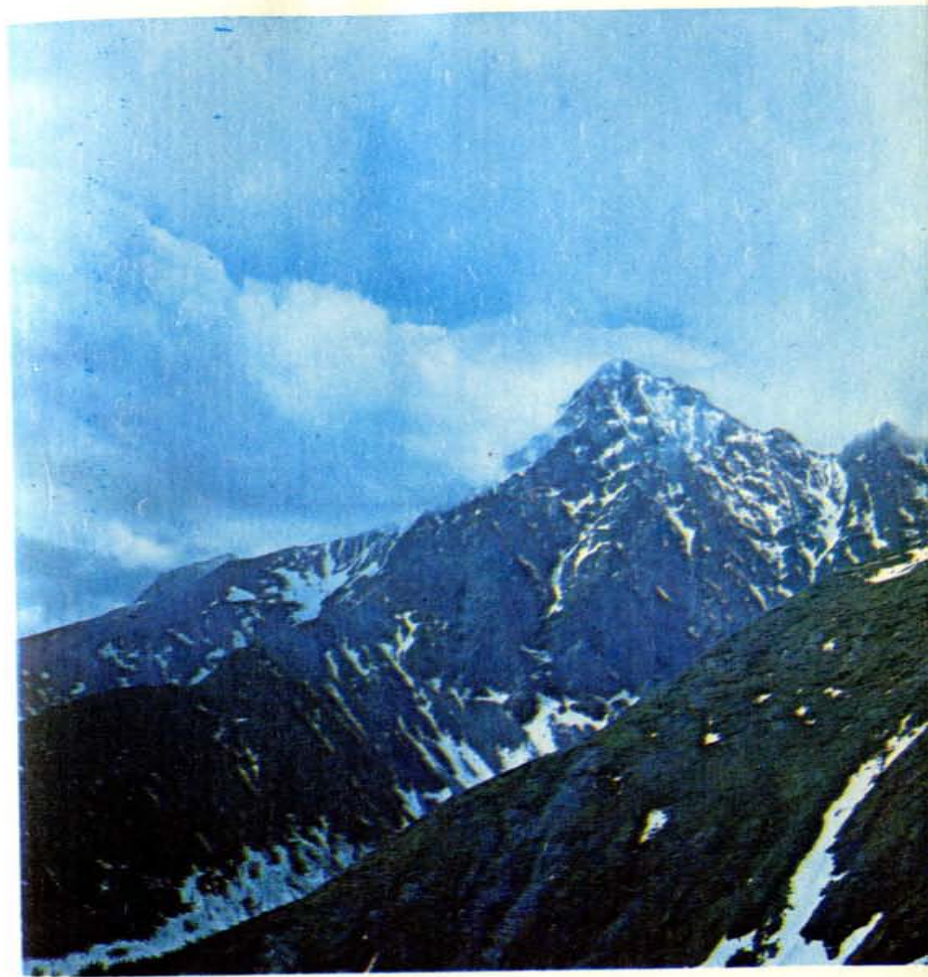
Самый высокий в Восточной Сибири горный хребет Мунку-Сардык



Лаборатория экспериментальной минералогии и петрологии. Здесь изучается поведение горных пород и минералов при очень высоких температурах и давлениях



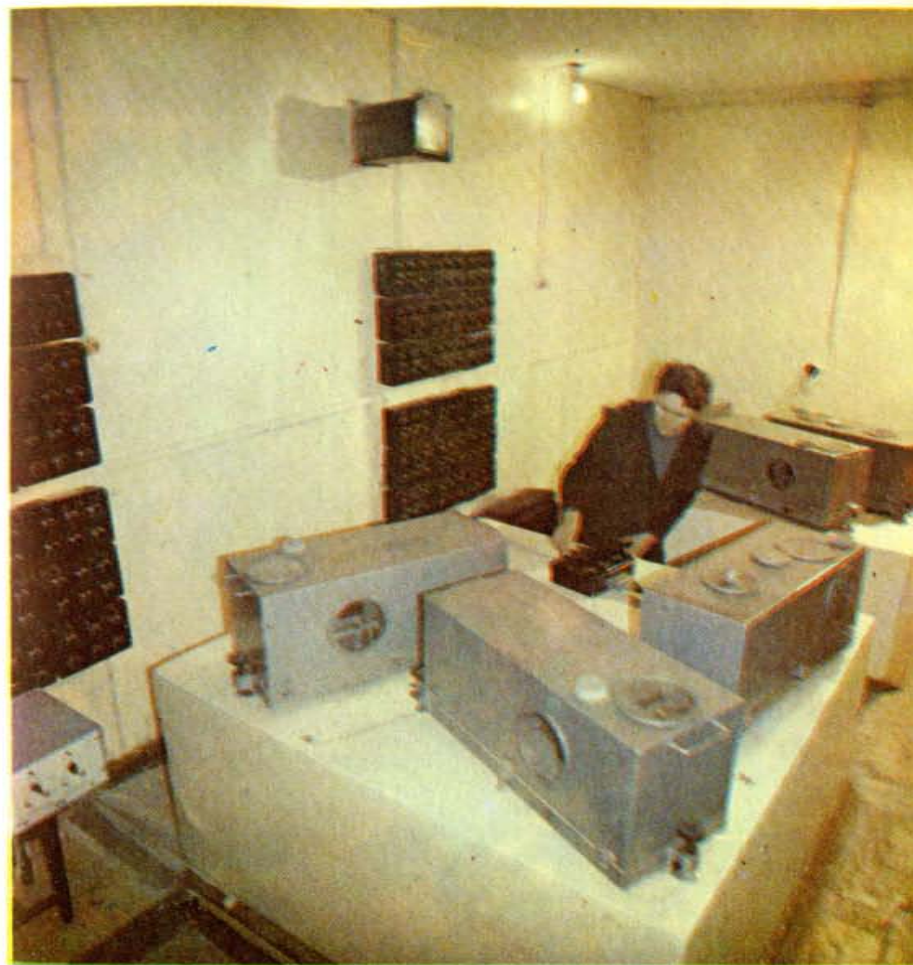
Горы Прибайкалья. Верховья долин, покрытые снегом, имеют ледниковое происхождение



Сильно расчлененный рельеф, называемый альпийским



Сейсмограмма

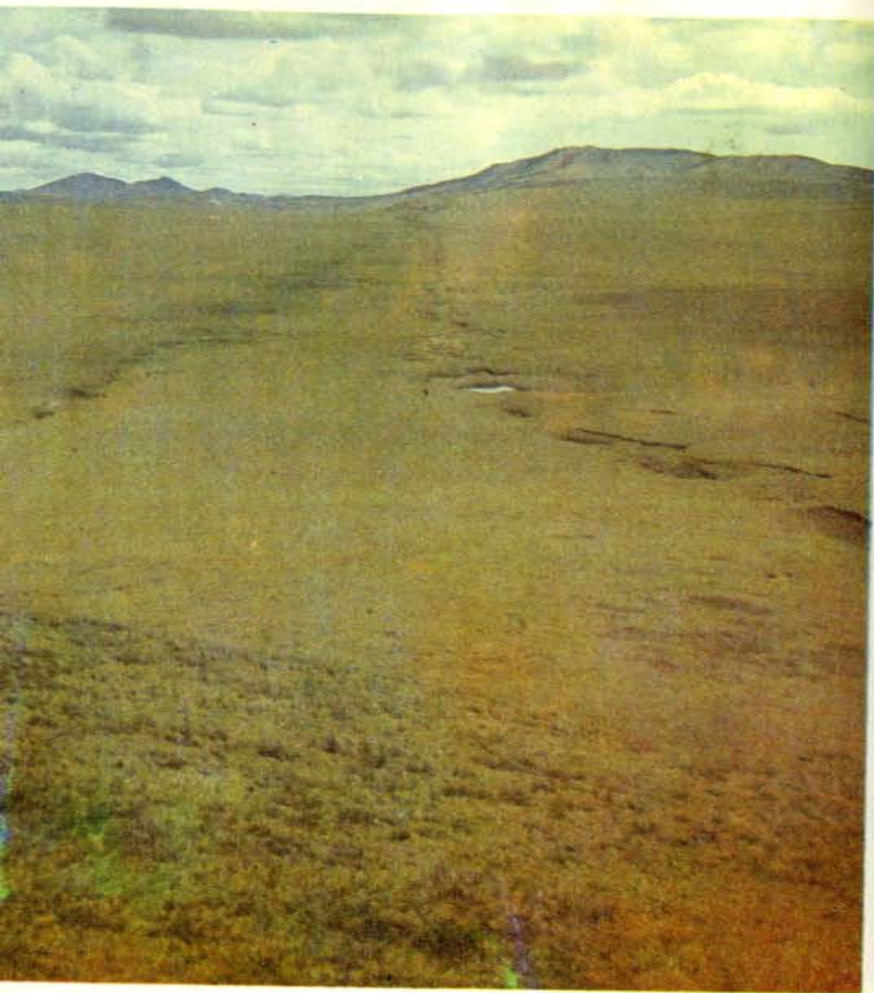


На сейсмической станции Иркутска. Принимающая аппаратура находится в глубоких подземных помещениях



Алмазоносные кимберлиты — наполнители трубок взрыва на якутских месторождениях алмазов

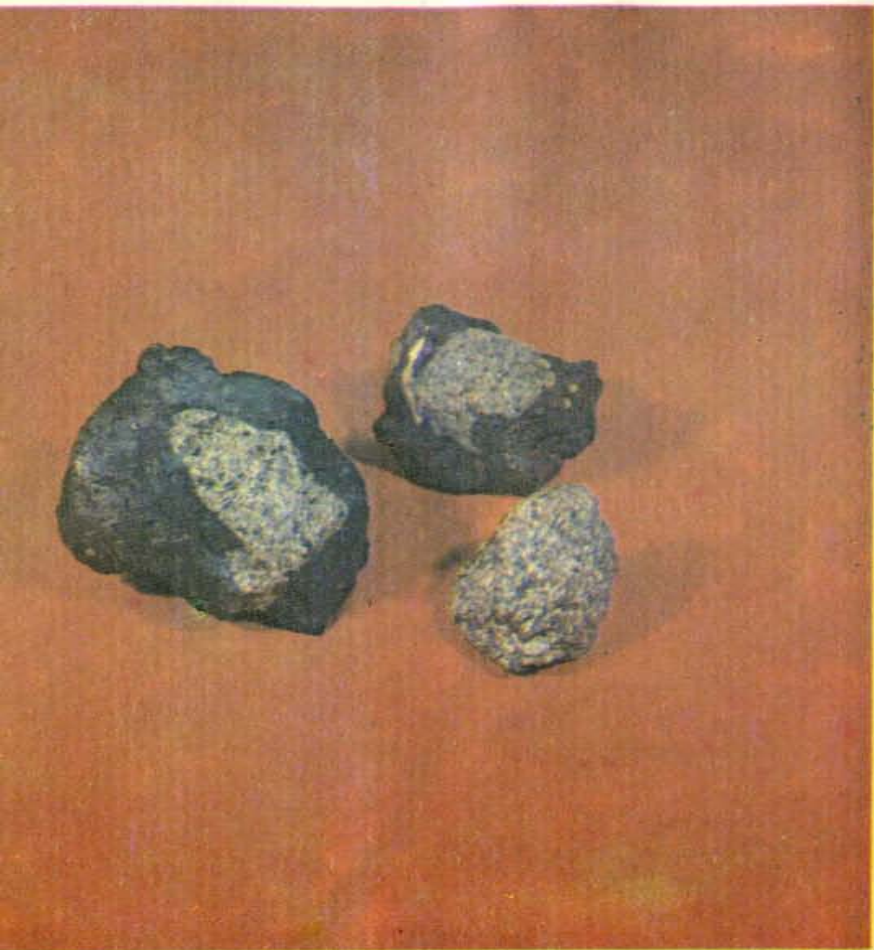




Разрывы земли при землетрясении 1905 г. в Монголии. Общая длина разрыва — 300 км



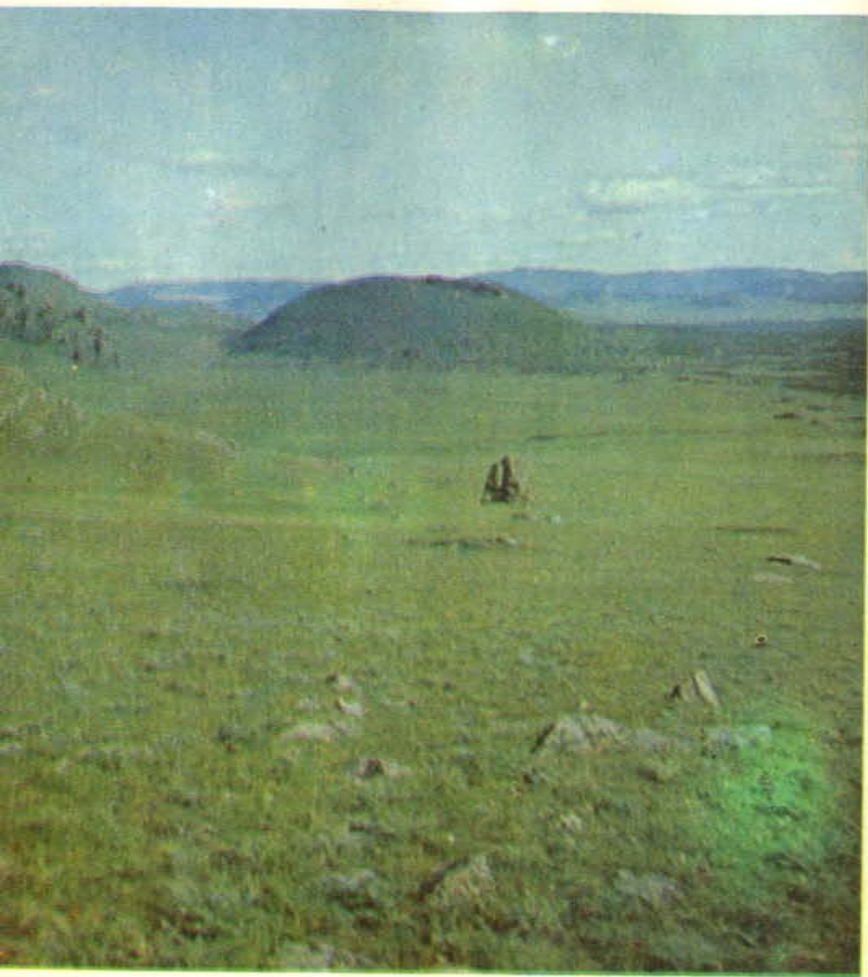
«След богатырского коня» — остатки деформации грунтов при сильнейшем (XI—XII баллов) землетрясении 1905 г. в Северной Монголии



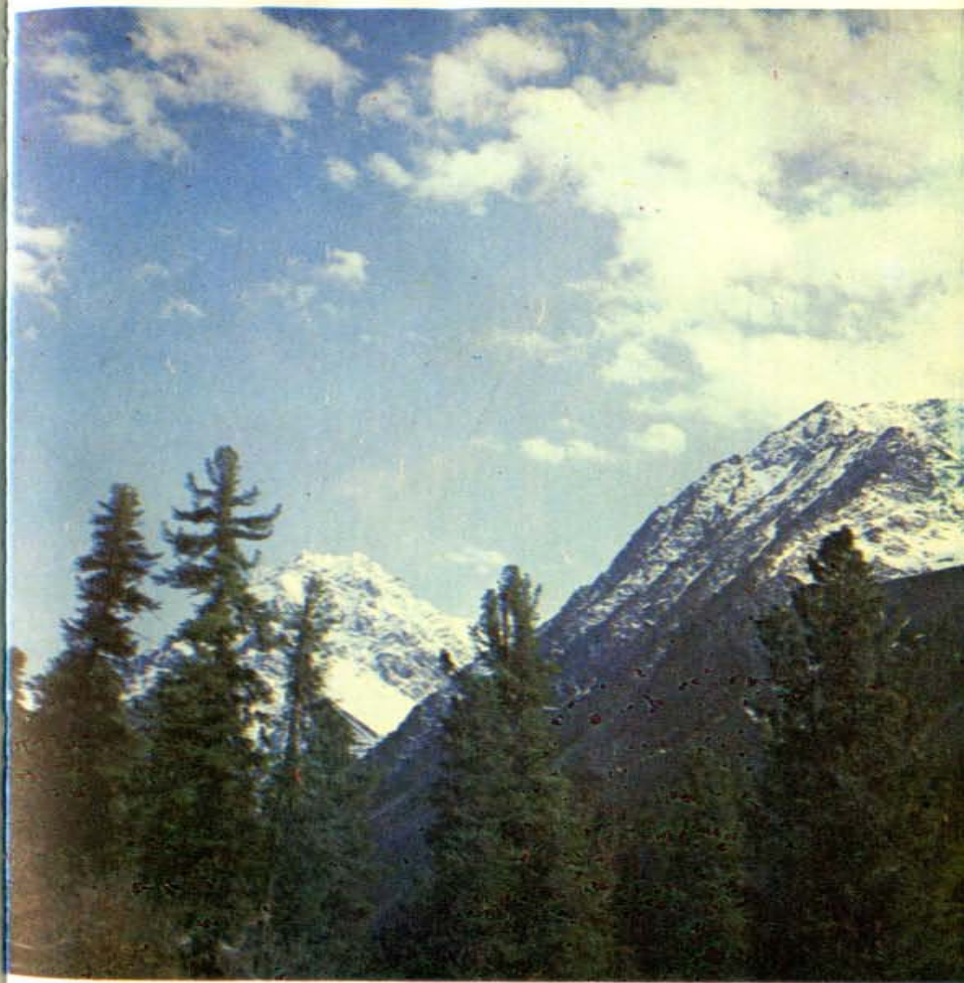
Обломки вещества мантии, вынесенные на земную поверхность из очагов подкорового расплава базальтовой лавой



Лаборатория изотопии и абсолютной геохронологии. Здесь определяется возраст горных пород и минералов



Тарятский шлаковый вулкан в Хангайском нагорье в Монголии



Горы Прибайкалья



Институт Земной коры СО АН СССР

(особенно разнообразных газов — флюидов), и покрывается воздушной и водной оболочками, которые могли быть выделены только веществом самой планеты, то не может быть сомнений, что земная кора представляет своего рода легкий шлак, в котором, по сравнению с самой мантией, произошло обогащение одними и обеднение другими элементами. С другой стороны, в мантии и земной коре содержатся одни и те же элементы, только соотношения их в этих оболочках разные. Легче всего объяснить это явление миграцией химических элементов из мантии в земную кору, из коры в гидро- и атмосферу и в обратном направлении — другими путями и другими наборами элементов. В геохимии этот вопрос хорошо изучен.

Интересно, что именно при изучении алданского архея, притом не оторванно от жизни, а в процессе поисков и разведок слюды-флогопита, возникла новая в науке гипотеза об образовании первичной земной коры. Главные положения этой идеи следующие.

Первичный океан и первичная атмосфера сформировались на коре основного состава, близкого к базальтовому. Почти повсеместно происходили все новые излияния базальтовых лав из огромных трещин и, возможно, отдельных вулканов, поставлявшие и в кору, и в воздушно-водную оболочку огромные количества газов. Термодинамическая обстановка была иной, температура на земной поверхности — гораздо выше. С возникновением атмосферы и гидросферы начался и протекал очень бурно процесс круговорота воды и движения воздушных масс по всей планете. Поэтому разрушение вновь и вновь возникавших вулканических возвышенностей, связанных с неравномерным накоплением лав и туфов, шло очень интенсивно. Разложение первичных вулканических пород шло преимущественно химическим путем, то есть было очень глубоким. Продукты разложения основных пород первичной коры подвергались размыву, переносу, перетолжению, все новому и все более глубокому преобразованию, в конечном счете отлагаясь на дне первичных водоемов в виде осадочных толщ. Как думают ученые, именно такой процесс взаимодействия водной, воздушной и твердой наружной оболочки планеты вел к перераспределению химических элементов и их соединений по сравнению с их соотношением в первичной коре. Так в течение многих десятков и сотен ми-

ЭТИ ГОРЫ ОГРАЖДАЮТ ПУСТЫНИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Стоят они, главные горы, а особенно их хребты и главные вершины, на опровергнутых ребром других слоях каменных... Где токмо не увидишь с расклинами каменные горы, тут оставшиеся следы земного трясения быть не сомневайся.

Ломоносов

После организации в 1949 году Восточно-Сибирского филиала Академии наук небольшой коллектив Института геологии по-настоящему еще не ощутил почвы под ногами. Да и нелегко было сделать это. Старинный (конечно, по сибирским масштабам) Иркутск уже в конце 30-х — начале 40-х военных лет стал самым или одним из самых «геологических» городов Советского Союза. Во всяком случае число специальных геологических и разведочных организаций да и процент геологов по отношению ко всему населению города был одним из самых высоких в нашей стране. Но это значило, что задачи геологического изучения нашего края, задачи поисков и разведок полезных ископаемых как бы делились между разными коллективами, которые, естественно, специализировались на каком-либо конкретном направлении общей государственной геологической службы, например, на поисках и разведках оловянных месторождений, нерудных ископаемых и т. д. В таких условиях только что организованный Институт геологии должен был найти свое место под солнцем, но не случайное, а отвечающее потребностям своего времени и места. Он был обязан заняться теоретическими проблемами геологии как институт академический. Возможности и нужды решения геологических задач были в то время, да и сейчас остаются, бескрайними. А тут как раз напомнила о себе земная кора.

В ночь на 5 апреля 1950 г. иркутяне проснулись необычно рано — в третьем часу. Дома вздрогнули, зазвенела посуда. «Опять землетрясение на Байкале», — решили бывалые иркутяне. Толчок не повторился. Все стихло, и глухая ночь вновь вступила в свои права. И только профессор Андрей Алексеевич Тресков в эту ночь мог чувствовать себя почти именинником. Земле-

лионов лет произошло обогащение верхних частей коры кремнеземом и щелочами, иными словами, кора приобрела более кислый состав по сравнению с подстилающими оболочками, и из нее стало возможным выплавление первичных гранитов. Перераспределению, накоплению одних, выносу других элементов в огромной степени содействовало появление биосферы. Одним из грандиозных результатов деятельности биосферы уже на самых первых стадиях развития жизни стало накопление и консервация в земной коре кальция в виде известняков, превратившихся впоследствии в толщи мраморов. Попутно заметим, что архейские мраморы выходят во многих местах в Приольхонье на Байкале, около Слюдянки.

Консервация в древнейших осадках углерода шла по линии не только накопления карбонатов — солей угольной кислоты, но также органических соединений — первичных носителей жизни, преобразованных в углеводороды, а на очень больших глубинах коры в практически кислый углерод — кристаллический графит. Примером могут быть архейские графитовые гнейсы в районе Слюдянки.

Нарисованный очень схематично путь преобразования «доархейской» химически основной «базальтовой» коры в кислую, гранитно-метаморфическую, происходивший за счет влияния на протокору главным образом протогидросферы и протоатмосферы, принят в настоящее время многими учеными. Интересно отметить, что такой путь развития первичной коры был впервые намечен геологом Н. В. Фроловой, много лет работавшей в Восточной Сибири, тесно связанной своими исследованиями с Иркутским университетом, Институтом земной коры и Сибирским институтом геохимии им. А. П. Виноградова.

Докембрий в целом, древний докембрий, или архей в частности, очень богаты полезными ископаемыми разнообразного типа и происхождения, особенно рудными. Поэтому интерес к изучению древнейших толщ Земли неуклонно возрастает. Несомненно, что и докембрийские толщи Восточной Сибири в этом отношении весьма перспективны.



ТРЕЩИНЫ, ВОЗНИКШИЕ ПРИ МОНДИНСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ
5 апреля 1950 г.

трясения — его специальность, он заведует сейсмической станцией «Иркутск». Сигнализатор был установлен прямо в спальне профессора. Он встает и спешит на улицу. В нескольких шагах от крыльца видимый в темноте силуэт низкого здания, где на специальных фундаментах стоят и пишут на движущейся ленте свои рапорты сейсмографы-самописцы. Иркутская сейсмическая станция, первая в Сибири, уже почти полвека несет службу сейсмического дозора. Чаще всего тревожат ее толчки, идущие из недр под Байкалом. Но сегодня сам Байкал ни при чем. Это было сильное землетрясение с эпицентром на границе Бурятии и Монголии, в верховьях Иркутта.

Землетрясение 5 апреля 1950 г. вошло в специальные научные отчеты и каталоги как Мондинское, по названию пограничного поселка Монды. По предварительным сведениям, вскоре подтвержденным на месте, его сила (теперь чаще говорят интенсивность) достигала 9 баллов, что по существующей в науке и технике градации свойственно опустошительным землетрясениям. Всем памятное Ашхабадское землетрясение было именно таким. Ташкентское достигало только 7 баллов.

Институт геологии направил в район землетрясения небольшую группу сотрудников. В поездке принял участие и А. А. Тресков. На месте был собран важнейший научный материал.

Мондинское землетрясение как бы «открыло» новый сейсмический сезон в Восточной Сибири. Его об-

следование велось физиками и геологами. Ведь всякое землетрясение — это явление, с одной стороны, физическое, а с другой — геологическое, изучать его нужно всесторонне, о чем мы будем еще говорить ниже. Не менее важно было другое: Мондинское землетрясение навело на мысль, что вся цепь межгорных впадин во главе с Байкалом, пересекающих Восточную Сибирь от Монголии до Южной Якутии, таит в себе угрозу сильных землетрясений, что вся она на протяжении 2000 км сейсмична. Так в Институте геологии сложилось особое научное направление — геолого-геофизическое изучение землетрясений, ставшее одним из самых главных активов этого института, через восемь лет сменившего вывеску и ставшего Институтом земной коры. Да, земная кора стала занимать время и труд целого научного коллектива.

Если изучение землетрясений стало такой важной частью работы Института земной коры, то это не значит, что подобные грозные явления природы изучаются здесь оторванно от других стихийных глубинных сил Земли. Совсем нет. Изучение земной коры и действующих в ней сил ведется здесь, как и в новосибирском Институте геологии и геофизики, по разным направлениям. Но сначала займемся именно землетрясениями, так как в Восточной Сибири ими земная кора довольно часто напоминает о себе. О землетрясениях упоминалось в летописях Иркутска.

Среди всех стихийных сил природы землетрясения возникают особенно внезапно, неожиданно, ничем не обнаруживая своего приближения. Это свойство землетрясений делает их особенно опасными. Они разрушают жилища и другие искусственные сооружения, губят людей и животных, особенно в местах густонаселенных, причем люди становятся жертвами не столько прямых ударов или, скажем, провалов земли, а гибнут под развалинами собственных домов, от пожаров, при выходе из строя электросистем и водопроводов, под горными обвалами, при разрушении рельсовых путей. Энергия землетрясений, выделившаяся в их очагах на глубине, у земной поверхности переходит в разрушительную работу. Причем тем большую, чем при прочих равных условиях очаг землетрясения находится ближе к земной поверхности. Сила, иначе интенсивность, землетрясений различна, но, судя по историческому опыту, не беспредельна. Существующие шка-

лы землетрясений строятся, с одной стороны, на данных физики, когда о силе землетрясения судят по ускорению точек земной поверхности (см/с^2), а с другой стороны, по внешним проявлениям, так называемым макрозффектам. В Советском Союзе принята 12-балльная шкала MSK-64. Истории известны землетрясения колоссальной силы, но ученые редко решаются причислять их к 12 баллам, когда по существующей характеристике таких толчков «ни одно сооружение человеческих рук не выдерживает». О сильнейших землетрясениях говорят обычно осторожно, что, мол, сила толчков превосходила 11 баллов. Примером может служить Гималайское землетрясение 1950 г. Его энергия равнялась примерно энергии взрыва 100 000 атомных бомб, подобных сброшенной американцами на Хиросиму в 1945 г.

Как всякая другая шкала, шкала землетрясений очень условна: от некоего науке пока неизвестного минимума сила землетрясений на самом деле возрастает и переходит на следующий балл постепенно. В настоящее время в сейсмологии в качестве основной характеристики землетрясения принята так называемая магнитуда (M), введенная американским ученым Рихтером. M — некоторое условное число, пропорциональное логарифму максимального смещения частиц почвы. Определяется в относительных единицах. Максимальное $M=9$. Энергия землетрясения обозначается буквой E . Очень распространенное в настоящее время разделение землетрясений по энергетическим классам исходит из определения: энергетический класс $K=\lg E$. В горах Южной Сибири и Северной Монголии только в нашем столетии происходили землетрясения с $M=8,5$, то есть близкие к теоретическому пределу. Слов нет, уже этот факт не может не производить сильного впечатления.

Главная причина того печального факта, что среди стихийных бедствий землетрясения уносят больше всего человеческих жизней и причиняют наибольшие разрушения, заключается все же не в том, что подземные толчки не оповещают о себе заблаговременно, что они особенно коварны, а в том, что сильнейшие из них охватывают огромные площади, целые густонаселенные районы, как было, например, в Чили в 1960 г., в Южной Италии в 1981 г. и т. д. Любопытно отметить, что по существу все страны высоких древних

цивилизаций (в Центральной и Южной Америке, вокруг Средиземного моря, на Ближнем Востоке, в Индии, Китае) были да и остаются, конечно, высокосейсмичными, и сведения о бывших землетрясениях находятся в древнейших письменных памятниках.

Если люди испокон веков страдали от землетрясений, то также из глубины веков идет искусство строительства жилищ, способных, не разрушаясь, выдерживать сильные толчки. Этот пассивный, но пока единственный способ борьбы с землетрясениями, существующий столетия и даже тысячелетия, лишь в последние десятилетия начал себя оправдывать в городских условиях. Воспоминания о катастрофических землетрясениях уже очень давно передавались из поколения в поколение, а случаи забвения прошлого опыта сурово наказывались природой. Бывало, что величественные сооружения, созданные тщеславием владык, недолго переживали их самих. Так была разрушена землетрясением самая грандиозная в мире соборная мечеть Биби-Ханым в Самарканде, построенная Тамерланом в 1399 г. Ныне это одно из чудес архитектуры мусульманского Востока будет реставрироваться с применением новейших материалов и средств, и мы увидим его во всем великолепии. Менее грандиозные архитектурные памятники той же давности, построенные из того же саманного кирпича (сырца), избегли разрушения. Долгий опыт оседлого населения Японии создал наиболее стойкий в условиях этой страны тип жилищ: легкие домики с раздвижными стенками. Возможно, самой стойкой при землетрясениях конструкцией оказались войлочные юрты у кочевников степной Азии, используемые и по сей день, например, в Монголии.

В наше время техника сейсмостойкого строительства достигла высокого уровня и в Советском Союзе, и за рубежом. Еще совсем недавно приезжие спрашивали, почему у нас нет высоких зданий. Но вот в последние годы в Иркутске и на правом, и на левом берегах Ангары были построены дома повышенной этажности. Это стало возможным потому, что появились специальные сейсмостойкие конструкции, и 9 этажей — отнюдь не предел для высоких зданий в Иркутске. Плотина первенца Ангарского каскада ГЭС — Иркутская ГЭС, построена с запасом прочности, рассчитанным на 9 баллов.

Несколько лет тому назад появилась книга С. В. Медведева и Н. В. Шабалина «С землетрясениями можно спорить». Да, можно спорить, но только не в открытом поле, а создавая в прямом смысле слова крепкие оборонительные стены.

Научившись строить сейсмостойкие здания, человек продолжает и у нас, и за рубежом вести исследования, цель которых — научиться предсказывать время и место сильных землетрясений. Это трудная, долгая, но очень важная работа — поле сомнений и надежд, оптимизма и пессимизма. Участвуют в ее разработке, в поисках подходов геологи, физики и геофизики Института земной коры, за плечами которых немалый опыт изучения землетрясений.

Особенно напряженные исследования в этом направлении ведутся в Советском Союзе, США и Японии. Ученые научились не только довольно точно определять местоположение их эпицентров, будь они хоть на дне океана, но и глубину очагов и даже направления сжатия и растяжения в них в момент разрядки напряжений, то есть механизм самого землетрясения. Казалось бы, мы знаем многое. Мы можем еще сопоставить расположение эпицентров любой сейсмической области с ее геологическим строением, с характером поля силы тяжести, магнитным полем, тепловым полем и т. д. Нередко это дает очень ценные указания на приуроченность землетрясения к какой-либо глубинной структуре земной коры. Но несмотря на все это, наука не может ответить прямо, точно и ясно на вопрос, что же такое землетрясение, в чем его причины и сущность. Конечно, можно уверенно считать, что землетрясение — это разрядка напряжений, накопившихся до какой-то критической величины в каком-то объеме земной коры. И только. Правда, можно еще предложить модели происходящей при этом деформации, например, смещение по трещине разлома в вертикальном или ином направлении. Но что происходит в очагах землетрясений на самом деле, мы еще не знаем. До сих пор причина землетрясений — одна из главных тайн земных недр. На этом примере мы еще раз убеждаемся в том, что, увы, жизнь недр нам известна меньше, чем жизнь околоземного космического пространства. А ведь должен же существовать какой-то ритм, какая-то закономерность, еще не схваченная наукой, периодичность или повторяемость сей-

смических событий. Пока здесь «темный лес», в этом надо признаться. И невольно вспомним вавилонских жрецов, которые три тысячи лет назад научились безошибочно предсказывать солнечные и лунные затмения.

Совсем недавно мы узнали о новом научно-техническом подвиге нашего времени — мягких посадках советских космических аппаратов «Венера-13» и «Венера-14» на поверхность «Утренней звезды». Весь мир восхищался этим грандиозным успехом космических исследований Советского Союза. При этом сообщалось, что после обработки огромного фактического материала, собранного приборами-автоматами на поверхности Венеры, будут получены некоторые данные и о сейсмичности планеты. С помощью советского лунохода уже довольно давно выяснилось также, что слабая сейсмическая активность свойственна и нашей ближайшей соседке Луне. Нельзя, таким образом, не видеть огромного разрыва наших знаний о поверхностных проявлениях сейсмичности небесных тел, с одной стороны, и о тех причинах и механизмах, которые «работают» в их недрах, возбуждая сейсмические толчки, — с другой. Этому можно удивляться, но и понять нетрудно, что самые недостижимые для человека, его машин и приборов области — недра небесных тел. Это они — хранители величайших и сокровеннейших тайн Вселенной.

Если края Ойкумены (вспомните научно-фантастический роман И. А. Ефремова «На краю Ойкумены», то есть на краю обитаемого человеком мира, от греческого слова «ойкос» — дом), как кажется, могут расширяться почти беспредельно и колонизация человеком ближайших тел Солнечной системы вероятна даже в обозримом будущем, то недра планет, наверное, и тогда будут непосредственно недостижимы из-за господствующих в них огромных давлений и температур.

Из сказанного отнюдь не следует, что остается опустить руки, напротив, изучение землетрясений нужно продолжать и расширять. И хотя самописцы-сейсмографы регистрируют, а также сообщают нам многие важнейшие характеристики землетрясений, находясь в большом удалении от их эпицентров, этим никоим образом нельзя обойтись. Поэтому в настоящее время в сейсмических районах созданы или создаются целые

сети сейсмических станций. Одна из них, Прибайкальская, находится в ведении Института земной коры. В стенах этого института ведется и геологическое изучение землетрясений — детальное обследование районов бывших, исторических землетрясений и сейсмических явлений наших дней.

Что говорить, землетрясения — явления природы, от которых, как мы видели, нельзя отмахнуться ни на практике, ни в теории. В науке же важность познания этих явлений вытекает из того простого факта, что они — прямой, непосредственный и высоко информативный свидетель, более того, прямое выражение продолжающейся интенсивной жизни глубин нашей планеты, энергетические ресурсы которой кажутся неисчерпаемыми. Хотя они непрерывно растрачиваются в течение 4 млрд. лет! Выходит, что, растрачиваясь, они в какой-то мере возобновляются, как принято думать, за счет радиоактивного распада.

Монголо-Сибирская горная система, как целое, сейсмически активна. Она входит в состав так называемого Трансзиатского сейсмического пояса, который тянется от Малой Азии и Ирана на западе через Среднюю Азию на восток и юго-восток до Тихого океана. Здесь Трансзиатский сейсмический пояс смыкается с «огненным кольцом» Тихого океана, названным так за многочисленные деятельные вулканические украшения и устрашающие как островные, так и материковые страны по периферии океана. Огненное кольцо совпадает по местоположению с Тихоокеанским сейсмическим поясом. Мы, жители глубокого континента, находимся в пределах северной ветви Трансзиатского пояса, который называют Монголо-Байкальской сейсмической зоной. В ней, как упоминалось выше, совсем недавно происходили землетрясения колоссальной силы ($M \gg 8$), и, следовательно, эта беспокойная земля — своего рода полигон, естественная лаборатория, где в земной коре генерируются сейсмические явления и где, разумеется, их удобно изучать.

Помните, первый звонок, возвестивший наступление нового сейсмического сезона в Восточной Сибири, прозвенел 5 апреля 1950 г.? Что же было дальше?

Прошло семь лет, в течение которых иркутяне нет-да и ощущали легкие, 3—5 баллов, толчки, исходившие, как правило, из недр под Южным Байкалом. К ним, что называется, привыкли.

Зимой 1956/57 года в Иркутский университет пришло письмо, в котором Совет по сейсмологии Академии наук запрашивал наше мнение о сейсмичности северной и северо-восточной частей Байкальской горной области. Поводом для этого был новый проект карты сейсмического районирования территории Советского Союза. Такие карты являются важным государственным документом, определяющим степень опасности отдельных районов в отношении сильных землетрясений, а отсюда и степень риска при строительстве новых объектов и населенных пунктов, увеличение ассигнований, необходимых для планирования развития народного хозяйства в районах беспокойной земли. При составлении таких карт издавна используется опыт уже бывших землетрясений, то есть историко-статистический метод. Но вот тут и возникают особые трудности — для многих территорий исторических сведений о землетрясениях очень мало. Так, для Восточной Сибири они восходят не дальше XVIII столетия. В подобных случаях остается обращаться к косвенным свидетельствам возможной сейсмической активности прошлого и настоящего, прежде всего к разнообразным геологическим данным. На картах сейсмического районирования обычно принято показывать районы различной опасности с помощью изосейст, то есть линий, соединяющих точки земной поверхности, где землетрясения имели одинаковую силу. Приблизительный, гипотетический, характер таких построений очевиден, но и полезность их вне всяких сомнений. Что же касается Восточной Сибири, то для больших ее территорий данных о прошлых землетрясениях вообще не было, и существовало мнение, что район к северу и востоку от Байкала в этом смысле благополучен. Но в это время в Иркутском институте геологии составлялась новая схема строения и новейших тектонических движений Байкальской горной области. Ее составители предложили свой вариант, при котором сейсмическая опасность северо-восточной части Байкальской горной области была показана значительно большей, чем в присланной из Москвы проекте карты. Из этого факта как будто ничего не следовало. Проект новой карты сейсмического районирования нашей страны продолжал обсуждаться. И в июне 1957 г. именно в этом диком, почти не населенном и не изученном восточном районе Прибайкалья произошло

сильное землетрясение. Случайно ли природа подтвердила тогда наши представления? Да, случайно, и в то же время закономерно. Случайно в том смысле, что землетрясения происходят во время, которое мы не можем, не умеем предвидеть. Закономерно потому, что когда-нибудь оно должно было произойти именно в этом районе. Дело в том, что Мондинское землетрясение случилось в верховьях Иркутка, где находится одна из самых крайних, западных, впадин «байкальского типа» и откуда подобные межгорные впадины тянутся цепью через всю Восточную Сибирь до Южной Якутии. Крупнейшей из них является впадина Байкала, где землетрясения нередки. Восточное продолжение этой цепи замыкается впадинами Муйской, Чарской, Токкинской, имеющих тот же облик и, по всем данным, то же внутреннее строение, как и другие впадины байкальского типа. В то же время мы уже знали, что на всем своем протяжении, на 2000 км, эти впадины имеют примерно одинаковое происхождение и, следовательно, Байкальская система — это единое целое, хотя и внутренне сложное. Ход рассуждений был прост: если землетрясения обычны для среднего, собственно байкальского звена всей системы, если они происходят и на ее западном фланге, где находятся Монды, то естественно ожидать землетрясений и на восточном фланге. Так оно и случилось и при этом, что называется, незамедлительно. Землетрясение было названо Муйским, так как его эпицентр оказался вблизи Муйской межгорной впадины, в сравнительно небольшой, но геологически подобной остальным, Намаракитской впадине. Для обследования района землетрясения Институт геологии так же, как это было в 1950 г., организовал специальную группу. Она вылетела в Бодайбо, где были получены первые сведения о силе толчков, а затем на катере поднялась почти на 500 км вверх по Витиму с остановками в населенных пунктах, где собирались новые факты. По рассказам местных жителей и разрушениям (главным образом печных труб), становилось ясно, что мы приближались к плейстоценовой, т. е. наиболее потрясенной области.

Добравшись до Муйской межгорной впадины, исследовательская группа провела визуальные исследования с самолета, примерно определила по зияющим трещинам в земле район эпицентра и наметила про-

грамму наземных исследований. Они были проведены в необходимом объеме в следующем году целой группой работников под руководством В. П. Солоненко. Наблюдалась интереснейшие эффекты обвалов, оползней, громадные трещины, сложные деформации водонасыщенных и мерзлых грунтов. Сопоставление сейсмограмм Муйского землетрясения с полевыми наблюдениями привело к выводу, что его интенсивность равнялась 10 баллам. И как счастливо все обошлось: этот далекий край в то время был очень мало населен, а в районе самого эпицентра не было вообще ни одной живой души. Сейчас по нему пролегает трасса БАМа.

Карта сейсмического районирования Восточной Сибири была существенно исправлена, и ни у кого не оставалось сомнений в том, что вся цепь впадин байкальского типа вместе с их ближайшим горным окружением сейсмична и чревата весьма серьезными сюрпризами. Один из уроков Муйского землетрясения заключался в том, что теперь явилась необходимость учета особых природных условий в том районе Восточной Сибири, где проектировались трасса БАМа и строительство Удоканского медного комбината. Кроме того, было подтверждено казавшееся раньше спорным утверждение В. П. Солоненко о том, что знаменитое Цаганское землетрясение 1862 г. в устье Селенги, когда за одну ночь под воды Байкала опустилась Цаганская степь, погибло много скота и образовался залив Провал, достигало тоже 10 баллов. Теперь всеми признано, что 9—10-балльные землетрясения, случавшиеся в Прибайкалье уже дважды за одно десятилетие, могут повториться и в любом другом месте этого края.

Мы до сих пор не объяснили читателям, что такое впадины «байкальского типа», хотя многие, наверное, догадались, о чем шла речь. Сам Байкал и вмещающая его впадина, конечно, неповторимы, во всяком случае в Евразии (единственная родная сестра Байкала — озеро Танганьика в Восточной Африке — также заполняет глубочайшую впадину). Зато в Прибайкалье немало мест, где горы, как и на Байкале, расступаются, образуя широчайшие долины с плоским дном, орошенным крупными реками. В плане они расположены в виде уже упомянутой цепи, которая в Восточном Прибайкалье раздваивается на две ветви. Все впадины зна-

чительно меньшего размера, чем Байкальская, и все они суходольные, вытянутые в длину вдоль горных хребтов, которые подходят к ним вплотную. При этом горы по западному и северному обрамлению впадин, как правило, очень высоки и создают впечатление величественных стен, а по южному и восточному обрамлению они более низки и пологи. Сходство впадин друг с другом очень велико и уже давно обратило на себя внимание. К ним мы будем еще неоднократно возвращаться. Известная многим красивейшая Тункинская «долина» — тоже впадина байкальского типа. Другие — Баргузинская, Верхнеангарская, Муйская, Чарская, Токчинская, Мондинская — все очень похожи друг на друга, и как бы скованы воедино высокими сопровождающими и разделяющими их параллельными хребтами. В этой книге мы отведем впадинам байкальского типа особое место, так как теперь они широко известны в мировой науке и не только за то, что одна из них, крупнейшая, занята водами самого глубокого на Земле озера — Байкала.

Через полгода после Муйского землетрясения, то есть в те же пятидесятые годы, произошло еще одно событие, но на этот раз не в Прибайкалье, а в горах Гоби-Алтайского Алтая на юге Монголии. О нем мы расскажем особо, так как, несмотря на кратковременность этого землетрясения (3—4 минуты), все связанные с ним обстоятельства, да и само его изучение составили своего рода эпопею в исследованиях Института земной коры. Гоби-Алтайское землетрясение вошло в список так называемых мировых, то есть сильнейших из когда-либо случавшихся в человеческой истории. Им мы займемся в следующей главе.

«Сейсмический сезон» в Восточной Сибири не закончился Муйским землетрясением. В ночь с 29 на 30 августа 1959 г. иркутяне были разбужены сильным толчком. Толчок и колебания земли были необычно сильными даже для, в общем-то, привычных иркутян. На сейсмостанции «Иркутск» сразу началась работа. В эту же ночь было приблизительно рассчитано место эпицентра — это был Байкал. А на рассвете началось обследование построек Иркутска и селений по дороге к Байкалу, показавшее, что многие постройки, особенно старые каменные, получили заметные повреждения: развалились сотни печных труб, в одном месте был поврежден водопровод, зато старые деревянные зда-

ния сибирской работы в большинстве отлично выдержали испытание. В Иркутске наибольшей силы толчки достигали в нижней (центральной) части города, то есть на низкой террасе правого берега р. Ангары. В зависимости от местных условий (рельефа, грунта, глубины залегания подземных вод) сила землетрясения в Иркутске колебалась от 5 до 7 баллов. Жертв не было. В Улан-Удэ, то есть по другую сторону Байкала, сила толчка не превосходила 5 баллов.

Через сутки Институт геологии организовал визуальное обследование Байкала с воздуха с помощью гражданской авиации. Но необходимо было собрать подробные сведения на месте. Это землетрясение (позже названное Среднебайкальским), кроме всего прочего, напоминало иркутянам о землетрясении большей силы 11—12 января 1862 г. О нем выше уже говорилось. По сохранившимся описаниям и главному поверхностному результату — образованию в устье Селенги залива Провал площадью до 200 км², где находились пашни и луга, пять бурятских улусов (человеческих жертв не было) и где погибло более 17 тыс. голов скота, сила его должна была достигать 10 баллов. В Иркутске оно ощущалось, судя по описаниям современников, в 8 баллов. Почти 100 лет отделяли эти два землетрясения. А Байкал теперь словно чуть поспешил отметить круглый юбилей своей «шалости» в дельте Селенги толчком в 9 баллов.

Уже в первых числах сентября на восточный берег Байкала в район эпицентра выехала обследовательская группа. Максимальные разрушения зданий, деформация грунтов, извержения на поверхность жидкой грязи по прямым линиям, намечающим положение на глубине трещин, и многие другие явления, отчетливо свидетельствующие о силе землетрясения в 9 баллов, были найдены к востоку и северо-востоку от залива Провал. Повторное эхолотирование дна Байкала, выполненное Лимнологическим институтом, позволило с большой вероятностью установить изменение глубин дна озера до 9 м.

В течение последующих трех месяцев повторные толчки продолжались. Их было более 700.

Иркутский геологический институт проводил специальные изучения сильных землетрясений уже четвертый раз — после Мондинского, Муйского и Гоби-Алтайского. Был накоплен большой опыт. Геологи и сей-

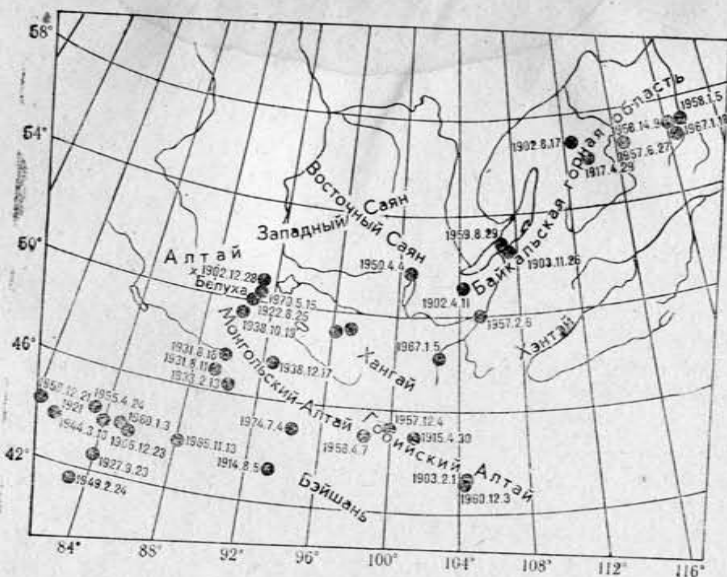


Рис. 4. РАСПОЛОЖЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ СИЛЬНЕЙШИХ (ОТ 9 ДО 11 БАЛЛОВ) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ XX СТОЛЕТИЯ В ЮЖНОЙ СИБИРИ И МОНГОЛИИ. Эпицентры показаны черными кружками.

смологи стали работать рука об руку. Складывалось целое научное направление. И теперь уж стало вполне ясно — Байкал, недра под ним служат в Восточной Сибири главным накопителем и растратчиком сейсмической энергии.

Итак, в пятидесятые годы нашего столетия в Восточной Сибири произошло два 9-балльных и одно 10-балльное землетрясение. Но 10 лет — совсем малый срок для наблюдения над землетрясениями в этих краях. Несомненно, подземные толчки ощущались в Прибайкалье с незапамятных времен, а русские поселенцы отмечали их уже со времени постройки в XVII веке Иркутского и Баргузинского острогов. В следующем столетии были попытки составлять сводки по здешним землетрясениям и даже регистрировать их с помощью самодельных приборов. В Иркутске такая сводка была составлена С. С. Щукиным в 1862 г. Длительные наблюдения за землетрясениями в Селенгинске и Кяхте вели братья декабристы Н. А. и М. А. Бестужевы, жившие на поселении в Селенгинске и П. А. Кельберг, врач и друг их. Интересно, что Н. А. Бестужев, следуя

на место своей вечной ссылки в с. Селенгинск, испытал и описал одно из довольно сильных землетрясений в устье р. Селенги, а уже будучи на поселении, изобрел и сконструировал остроумный для своего времени прибор для регистрации землетрясений — «сейсмоскоп». Но все же Н. А. Бестужев и П. А. Кельберг были только любителями этого дела. Главная роль в обобщении сведений по землетрясениям Сибири (а позже — всей России) принадлежит А. П. Орлову, ученому необычайно широкого научного кругозора, заложившему основы инструментальной сейсмологии. Он предложил оригинальную конструкцию прибора, названного сейсмографом, подготовил условия для организации в России, и в частности в Иркутске, постоянной сейсмической службы. После смерти А. П. Орлова в самом конце прошлого столетия сейсмические исследования в Прибайкалье возглавил директор Иркутской магнитно-метеорологической обсерватории А. В. Вознесенский — энергичный и разносторонний исследователь. Во многом именно его усилиями в 1901 г. в Иркутске была открыта сейсмическая станция, одна из первых в тогдашней России. С этого времени и начались регулярные наблюдения над землетрясениями Прибайкалья.

Начало XX века было периодом бурного роста инструментальной сейсмологии во всем мире и в частности нашей стране. Этот факт непосредственно отражался и на работе Иркутской сейсмической станции. Она неоднократно переоборудовалась новыми приборами. Новые сейсмографы, разработанные Б. Б. Голицыным и совершившие полный переворот в инструментальной сейсмологии, были установлены на Иркутской сейсмической станции в 1912 г.

Такова, так сказать, предыстория сейсмической службы в Восточной Сибири. В последнее время она находится в совместном ведении Академии наук СССР и Министерства геологии. Это целая сеть сейсмических станций с руководящим центром в Институте земной коры.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ГОБИЙСКОМ АЛТАЕ

*Застонала тяжким стоном
Глубь долин, и сердце гор
Потряслося.*

А. Пушкин

В декабре 1957 г. Иркутской сейсмической станцией были зарегистрированы сильные подземные толчки, которые шли из Гобийского Алтая Монгольской Народной Республики.

Полвека назад в Северной Монголии случилось нечто подобное, о чем в свое время писали в научных журналах, но писали скупо, сдержанно. Какая же из двух сейсмических катастроф была сильнее? Как узнать об этом достоверно? Не было ли новое землетрясение в Монголии своего рода откликом земных недр на Муйское?

В сообщениях из Улан-Батора указывалось, что в горах сильные разрушения; несколько сомонов (сельсоветов) пострадали так, что все постройки из кирпича сырца развалились, есть немногочисленные жертвы. В район землетрясения направлена правительственная комиссия и группа обследования.

По понятной ассоциации вспоминалось землетрясение 1905 г. Его называли Танну-Ольским, поскольку произошло оно к югу от одноименного хребта. Оно оставило на местности столь яркие следы, что много лет позже топографы, составляя карты Северной Монголии, не могли не заметить и не показать их особым знаком. Мы знаем об этой грандиозной катастрофе не только из каталогов землетрясений, а главным образом, благодаря самоотверженной работе двух исследователей-иркутян. Они провели наземное обследование землетрясения по своей инициативе. Это были директор Иркутской магнитно-метеорологической обсерватории Аркадий Викторович Вознесенский и студент Виталий Чеславович Дорогостайский, зоолог, будущий профессор. Двое энтузиастов, не дождавшись обещанных Географическим обществом скромных ассигнований на поездку в Монголию, предприняли тогда на личные средства А. В. Вознесенского смелое путешествие и сделали все возможное, чтобы полевые данные о землетрясении сохранились для науки. Работать им было трудно, вскоре выпал снег, местные власти —

монгольские феодальные князьки — не только не помогали русским ученым, но даже пытались отрицать сам факт землетрясения и препятствовали опросу местных жителей. И тем не менее они проследили и нанесли на карту громадные разрывы-трещины двух поряд бывших в 1905 г. землетрясений. Основная трещина была прослежена на 350 км вдоль северного склона Болнайского хребта и южного склона хребта Хан-Хухей. Сейчас это землетрясение называют Болнайским и считают одним из величайших землетрясений, происходивших на континентах на памяти человечества. Только в Сибири оно охватило область (т. е. ощущалось) от Томска на западе до Сретенска на востоке.

Мы вспоминали о Болнайском землетрясении в декабре 1957 г. и вспоминаем здесь потому, что новое землетрясение, если и не было никак связано с предыдущим, говорило о поразительно высокой «активности» недр Монголии.

По приглашению правительства МНР в Улан-Батор выехали А. А. Тресков, В. П. Солоненко и Н. А. Флоренсов, чтобы ознакомиться с районом землетрясения.

Так началось изучение грандиозного Гоби-Алтайского землетрясения, вошедшего в число «мировых» и ставшего поводом для нового подъема научных дискуссий о причинах подобных грозных явлений.

В самый канун нового 1958 г. смешанная группа иркутских и монгольских ученых специальным рейсом прибыла на самолете из Улан-Батора в аймачный центр Баян-Хонгор. А через день вылетели на юг, прямо в Гобийский Алтай. Груды невысоких голых серых гор, кое-где разделенных синими змейками замерзших рек, скоро сменились разбросанными горами красного цвета, тесно рассеченными сухими лощинами. Снега, конечно, нигде не было. Монгольские товарищи предупредили: «Подлетаем к цели». Под и перед самолетом высился мощный горный массив Их-Богдо, а по северному его подножью тянулся прямой, как стрела, разрыв, как будто проведенный в земле гигантским острым ножом по линейке разрез. Это и был главный сейсмический шов, практически мгновенно образовавшийся разрыв землетрясения, в общих чертах отразивший и кинематику, и динамику землетрясения. Обследовательская группа направилась на самолете сначала



ЛАГЕРЬ ЭКСПЕДИЦИИ В ПОДНОЖЬЯХ ГОБИЙСКОГО АЛТАЯ.
ЗЕМЛЯ ИЗБОРОЖДЕНА РАЗРЫВАМИ, ОСТАВШИМИСЯ ОТ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 декабря 1957 г.

Фото автора

ла на запад, где обнаружила массу очень сложных и широких разрывов среди невысоких сопок. Поскольку далее на запад трещины исчезали, а здесь, в урочище Бахар, были особенно мощными, то именно это место было сочтено за начальный эпицентр землетрясения, откуда, так сказать, все и началось. Именно этот район и был указан как эпицентральный расчетами А. А. Трескова в Иркутске, и таким образом первый прогноз подтвердился. Вскоре подтвердился и второй: облет горных массивов Их-Богдо и Бага-Богдо показал, что зона крупных разрывов в длину достигает почти 300 км, как это бывает лишь при сильнейших землетрясениях с магнитудой выше 8. Несомненно, землетрясение принадлежало к классу «мировых». Интервал между ним и Болнайским был всего в 52 года.

Обследовательская группа провела в двух местах наземный осмотр деформаций земли. Это были места, обнаруженные с самолета: район эпицентра и район стыка генеральной трещины (она была названа разломом Богдо) с трещиной, опоясавшей горы Их-Богдо с юга. Были обнаружены сложные сочетания сдвигов (смещений в горизонтальном направлении), сбросов (смещений по вертикали) и надвигов (смещений по наклонным трещинам, направленным косо вверх), ко-

торые и дали возможность представить в первом приближении механику землетрясения. Были опрошены очевидцы землетрясения. Весь собранный материал показывал, что Гоби-Алтайское землетрясение феноменально во многих отношениях, что это грандиозное явление природы представляет большой интерес для науки, в то время как сам Гобийский Алтай в геологическом отношении почти неизучен. Однако суровая гобийская зима с ее громадными суточными перепадами температуры отнюдь не благоприятствовала детальным наблюдениям. Было ясно, что необходимо отвести для них целый сезон.

Все эти материалы и выводы спустя несколько дней были рассмотрены в Улан-Баторе в Комитете наук и высшего образования МНР, а затем советская и монгольская стороны договорились организовать совместную специальную экспедицию для всестороннего изучения эпицентральной области землетрясения. Основную работу по ее подготовке взял на себя Институт земной коры. Экспедицию возглавил В. П. Солоненко, руководивший и всеми подготовительными работами. Во второй половине августа 1958 г., когда гобийская жара стала спадать, на берегу оз. Орок-Нур, напротив гор Их-Богдо, вырос палаточный городок — лагерь экспедиции. Он был разбит на каменистой площадке, тесно иссеченной сейсмическими трещинами. Недалеко от площадки тянулись сравнительно короткие трещины, в зияющей пасти которых могла бы легко уместиться пятитонная машина. Здесь был источник, а горы — рукой подать. Озеро Орок-Нур мелкое, с солоноватой водой, мало пригодной для питья, но, во-первых, дающее убежище массе водоплавающих птиц, а во-вторых — населенное рыбами. Рыбы эти пережили прошлой зимой подземный толчок под броней льда, который растрескался и открыл доступ озерному илу, с огромной силой выброшенному вверх и тут же замерзшему. Все это было видно в январе с самолета.

Экспедиция охватила исследованиями вершинную часть гор Их-Богдо и примыкающую к их подножьям подгорную равнину. Транспорт использовался разный: машина «газик», лошади, собственные ноги, позже — верблюды. Одновременно изучались геологическое строение местности и различные так называемые макроэффекты, оставленные землетрясением. Это дало воз-

возможность сопоставить то и другое, попытаться найти связь между тем и другим, а также рельефом местности, который существовал, конечно, к моменту землетрясения в своем современном виде и, значит, был одним из слагаемых той природной обстановки, в которой возникло и протекало землетрясение. Базируясь на «трещинном» лагере, экспедиция сумела провести очень важные наблюдения. Вот главная их суть.

1. Примерно в траверсе главной вершины (она же высшая точка Гобийского Алтая — около 4000 м над уровнем моря) гор Их-Богдо в ущелье Битут-ам, открывающемся в Долину Озер, обрушилась целая гранитная гора, расколота землетрясением по почти вертикальной трещине, а дно ущелья было загромаждено обвальными массами огромного объема. Дело, однако, не в объеме рухнувших гранитных масс, а в том, что до сих пор остается неясным, произошел ли здесь простой обвал, вызванный колоссальными толчками, либо сброс-обвал, когда часть гранитной массы была, что называется, поглощена недрами. Ясно одно — явление в ущелье Битут было связано с возникновением сейсмических трещин в самой толще гранитного ядра горы; обрушение горных масс, возбуждавшееся повторным, хотя и постепенно затухающими толчками, растянулось здесь по меньшей мере на 1,5 месяца (первая исследовательская группа наблюдала поднимающийся из ущелья Битут на высоту 2—3 км столб красной пыли еще в январе); разломы в ущелье Битут были параллельны главному разлому Богдо в подножьях гор. Все это вместе взятое могло указывать, что в ущелье Битут находился второй эпицентр землетрясения.

2. Самая верхняя часть горного массива Их-Богдо была также исполосована трещинами, идущими косо, под острым углом к направлению главного разлома Богдо. Зияние трещин показывало, что при их образовании действовали не сжимающие, а растягивающие усилия. Это могло свидетельствовать о внутреннем расслаблении и начавшемся расседании вершинной части горного массива.

3. Трещина главного разлома Богдо на изученном отрезке не была вполне прямолинейной. Следуя в общем параллельно подножьям гор, эта трещина, сопровождаемая многочисленными малыми трещинами, ориентированными то параллельно, то косо к ее простиранию, резко поворачивала в сторону подгорной низи-

ны (Долины Озер), там, где перед основным фронтом гор появились низкие параллельные этим горам гряды — форберги. Главный разлом охватывал такие гряды понизу, со стороны низины, как бы свидетельствуя о том, что «корни» здешних гор незримо протягиваются и в сторону от подножий, что они обнаружили себя лишь при сильнейшем землетрясении.

4. Некоторые из гряд-форбергов оказались сложеными полурыхлым материалом, неотличимым от обломочного материала, выносимого из сухих горных ущелий в наше время, но в то же время достаточно древних — примерно 1,5—2,0 млн. лет. Появилась мысль, что горы стремятся продвинуться в сторону подгорных низин, создавая перед собой передовые гряды, состоящие из продуктов своего же разрушения. Эта мысль впервые была выдвинута Берки и Моррисом, участниками американской экспедиции в Монголию в начале двадцатых годов.

Все приведенные выводы и факты, казалось бы частные, вошли в основу построения той модели землетрясения, к которой экспедиция пришла в итоге своих работ.

Работа экспедиции была прервана ураганом большой силы. Ему предшествовало, как это обычно бывает, зловещее затишье. Палаточный лагерь удалось спасти только заслоном из тяжелых машин. Некоторые вещи были унесены ветром на двадцать километров. Сразу сильно похолодало, на горах выпал первый снег.

Лагерь экспедиции переместился к востоку, к подножьям второго, столь же величественного, горного массива Гобийского Алтая — Бага-Богдо. Отсюда была изучена широкая перемычка — седловина между Их- и Бага-Богдо — и сам массив. Был прослежен до конца обновленный землетрясением разлом Богдо, длина которого оказалась равной 275 км. Местность вблизи лагеря была очень живописной. Повсюду обнажались лишенные всякой почвы и растительности красные, темно- и лилово-красные, алые палеогеновые слои, перемежающиеся слоями желтого и белого цвета. Площадка лагеря находилась вблизи ручья, а к востоку от него господствовал на повсеместно обнаженных красноцветных породах специфический рельеф бедленд, что по-английски означает «плохая земля». Название это, давно вошедшее в науку, было по смыслу своему заимствовано у северо-американских индейцев

и перешло затем в язык колонизаторов Америки — французов и англичан. Рельеф бедленд удивит каждого — он еле проходим (и только пешком) из-за крайне густого расчленения земли оврагами и лощинами, хаоса промоин и узких гребней между ними, где буквально негде зацепиться почве и растениям. Поэтому бедленд негоден даже как пастбище. Для его возникновения необходимо, во-первых, соответствующее геологическое строение — залегание у поверхности горизонтальных слоев рыхлых осадочных пород и, во-вторых, сухой климат, ливневый характер редких сезонных дождей. Именно такой бедленд примыкал к лагерю экспедиции, сияя на солнце необычайно яркими красками. Через него тоже тянулись трещины, сохранившиеся с 4 декабря прошлого года.

В середине октября работы экспедиции здесь закончились. Они показали, что:

1. На перемычке между массивами Их- и Бага-Богдо макросмещения землетрясения не менее ярки, чем против оз. Орок-нур. Главная трещина здесь смыкается с другой, также очень мощной, подходящей с юга. Здесь отмечены волнообразные искривления земной поверхности и вертикальные ее смещения с размахом до 4—5 м. Ряд ложин и долин с сухими руслами (по-монгольски, сайрами) в буквальном смысле перебит, разорван сейсмическими трещинами.

2. Главный разлом Богдо разрывает не только рыхлые и полурыхлые приповерхностные грунты и легкие осадочные породы, но разрывает и крепчайшие древние кристаллические породы. Значит, и в ущелье Битут трещины в гранитном массиве на самом деле могли быть сейсмическими разрывами, а не трещинами, возникшими просто из-за неустойчивости горы, которую при землетрясении «встряхнуло» и тем самым вызвало обрушение.

3. Геологическое строение перемычки оказалось непохожим на строение самих горных массивов, что и следовало ожидать. Родилось предположение, что при землетрясении весь горный массив Их-Богдо с его примерным объемом (относительно уровня подошвы) — 1000 куб. км и весом $2,7 \cdot 10^9$ тонн сдвинулся с запада на восток, в сторону Бага-Богдо, которым и был, возможно, удержан. Величина неравномерного горизонтального смещения, замеренная на той же перемычке, в одном месте составила более 9 м. Трудно

вообразить, хотя и легко подсчитать, сколько энергии было при этом затрачено!

4. Попутно с основными наблюдениями экспедиция установила, что на перемычке между горами здесь и, вероятно, во всей округе жил и охотился человек каменного века (эпоха палеолита), так как сотрудниками экспедиции было найдено множество отщепов, ножевидных пластин, галечных орудий, рубил и т. д., словом, собран богатый ассортимент каменных орудий. Это открытие стало дополнительным подтверждением теории академика А. П. Окладникова об очень раннем, возможно, даже в древнекаменном веке, заселении Монголии первобытными людьми. С другой стороны, те же находки говорили о том, что в эпоху изготовления найденных экспедицией каменных орудий климат Гобийского Алтая был более влажным. Современные климатические условия здешних мест очень суровы. Ведь известно, что животные в эпоху даже позднего палеолита не были еще одомашнены, и люди жили собирательством того, что давала им земля.

Однажды небо покрылось туманной пеленой, столь редкой для Гоби, и затем выпал глубокий снег. Но это не задержало экспедицию: на следующий день она в полном составе переехала в Гоби-бали-сомон — населенный пункт к югу от Их-Богдо. Было уже холодно, и гостеприимная, приветливая администрация сомона разместила экспедицию по свободным юртам. Отсюда «отрабатывался» южный склон гор Их-Богдо. У их подножий так же, как и на северной стороне, был виден мощный сейсмический разрыв, тянувшийся, так сказать, в обход и в обхват горного массива и соединившийся после пересечения перемычки с разломом Богдо. И что замечательно, и здесь, у подножья гор, тянулся с запада на восток форберг и точно так же, как на северной стороне гор, с наружной, направленной на юг стороны его обхватывала здешняя главная трещина. Этим уже намечалась какая-то закономерность!

В первых числах ноября экспедиция закончила здесь свою работу. Оставался неизученным восточный фланг эпицентральной зоны, лежащий к востоку от Их-Богдо и составленный, по сравнению с ним, более короткими и низкими горными массивами. На карту были нанесены и детально изучены огромные зияющие трещины, растяжения, сдвиги и надвиги, наглядно де-

монстрировавшие механизм сейсмических разрывов и тенденцию напора гор на прилегающую к ним равнину. Как надлежит понимать последнее выражение? Могут ли горы на самом деле давить, надвигаться на поверхность у их подножий? Да, могут, но только вместе с блоками земной коры, увенчанными горами, так же, как равнины могут испытывать натиск гор только вместе с блоком земной коры, который они плавно и мягко ограничивают на той же земной поверхности. И это явление наблюдалось непосредственно на обнаженных плоскостях трещин, возникших при землетрясении. При этом, судя по бороздам скольжения одной стенки трещины по другой, такой напор не был простым «нажимом», а сопровождался даже некоторым вращательным движением, каковое испытывает, например, лезвие ножа при точке о брусок. Здесь, на западном фланге эпицентральной зоны, простые вертикальные движения земли почти не имели места, а господствовали горизонтальные сдвиги и косые к горизонту надвиги горных масс в сторону Долины Озер.

Становилось холодно, по ночам температура падала до -15 . Стояла совершенная тишина, и сотрудники экспедиции часто любовались миражами. В середине ноября работы были закончены. Обработка собранных материалов проводилась в Институте земной коры. Вышедшая в свет через несколько лет книга «Гоби-Алтайское землетрясение» была вскоре переведена за рубежом на английский язык.

Попробуем теперь восстановить картину землетрясения 4 декабря 1957 г. такой, какой ее восприняли очевидцы и какова она была на самом деле. Это можно сделать с достаточной уверенностью, используя материалы экспедиции. Итак, 4 декабря 1957 г.

Ясный, тихий день. По ночам здесь очень холодно, а днем только легкий мороз — следствие резко континентального климата Монголии. Здесь — самое сердце Великого азиатского зимнего антициклона. Поэтому и воздух так прозрачен, и так четко вырисовываются на горизонте серые бесснежные степи, холмы и голубоватые, местами со снегом, горы за ними. Мирно течет жизнь в соменах Гобийского Алтая. В школах идут занятия. Местное время 11 час. 38 мин. Международное время — 3 час. 38 мин.

...Подземный толчок, и колебания почвы прокати-

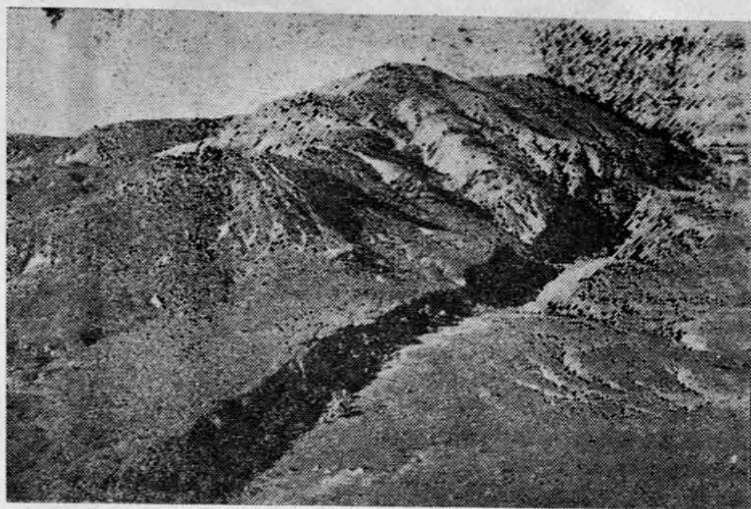
лись по всему Гобийскому Алтаю на сотни километров. Примерно 5 баллов. Так называемый форшок — предварительный удар, справедливо названный позже В. П. Солоненко «ударом милосердия». Люди выбегают из юрт домов наружу. Успевают выбежать и школьники. Предчувствие чего-то страшного наполняет все живое. Это страшное надвигается, оно ближе, ближе...

...Удар невообразимой силы. Валятся и рассыпаются стены глинобитных домов, рушатся их крыши, тучи пыли окутывают развалины, людей, животных, застилают небо. Земля ходит ходуном.

...Третий удар — еще ужаснее. Земля словно раскалывается по всему подножью гор. Стоит страшный грохот. Новые тучи пыли взметнулись и совсем затмили солнце. Араты видели, как по подножью гор словно прочертилась с востока на запад черная линия и низко, необыкновенно медленно пролетела в том же направлении молния. Видели эту картину немногие — не до того было людям, чтобы смотреть вдаль и наблюдать происходящее, но все, кто видел, свидетельствовали одинаково.

Землетрясение продолжалось всего около 3—4 минут в своем бешеном разгуле. Потом еще долго толчки время от времени возобновлялись, но это были только постепенно замирающие афтершоки. Так продолжалось еще несколько месяцев. Еще месяц спустя В. П. Солоненко видел, как по трещине главного разлома взметнулась и пронеслась с запада на восток как бы завеса от пыли: видимо, стенки трещины продолжали вибрировать даже близ самого выхода на поверхность.

В самом центре в момент землетрясения находились люди — они на некоторое время потеряли сознание. Очаги в юртах в это время, к счастью, не горели, сами же юрты, эти легкие, хорошо приспособленные к условиям пустыни жилища кочевников, хотя и прыгали как пробки вверх, все же выдержали страшное испытание. Поблизости из трещин мерзлой земли появился сильный источник, создавший целое озеро, тут же застывшее. Но самым ужасным, кроме громадных трещин, к счастью, не поглотивших ни одного человека, были горные обвалы. Они-то и погубили немалое количество скота. Под обвалами погибли и некоторые араты. В ущелье Битут обвалы гранитных масс продолжались около двух месяцев, превращаясь при на-



РАЗРЫВ ХОЛМОВ, ОБРАЗОВАВШИЙСЯ В МОНГОЛИИ, В ГОБИЙСКОМ АЛТАЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 7 декабря 1957 г. Фото автора

дении в красную пыль и образуя столбы пыли двух-трехкилометровой высоты. Многие горные склоны были просто растерзаны трещинами, а некоторые вершины чуть не сорвались со своих оснований. Все это под чудовищный грохот и при померкшем от пыли свете... Это была страшная катастрофа, и если бы она произошла не в пустынных горах, а где-либо в густонаселенной местности, число жертв и материальный ущерб были бы огромны.

Какие же научные выводы следовали из изучения Гоби-Алтайского землетрясения?

Во-первых, теперь уже стало совершенно ясно, что Западная Монголия — это страна необыкновенно высокой сейсмичности. Вскоре это подтвердилось новыми землетрясениями. Кроме того, было уже известно, что еще в 1931 году в Китайской Джунгарии, вблизи Монгольского Алтая, произошло землетрясение огромной силы. Оно было названо А-Шаньским, внесено в каталоги, но осталось совершенно неизученным. К нему мы еще вернемся. Кроме того, уже после Гоби-Алтайского в Западной Монголии произошло Могодское землетрясение (1967, 10 баллов), Булганское (1972, 9 баллов), Тахийн-Шуранурское (1974, 10 баллов) — целый рой толчков, да каких! Действительно, если мы обратим-

ся к сейсмической карте всего земного шара, то убедимся, что нигде более на земле землетрясения такой чудовищной силы не происходили в столь большом удалении от берегов океанов и морей, в самой глубине континента, причем величайшего континента — Азии. Такое исключительное «поведение» земной коры под Западной Монголией требовало объяснения. Объяснить это очень молодым возрастом гор в этой стране нельзя. Не менее молоды, например, горы Прибайкалья. Перед наукой становилась новая большая задача — понять особенности состояния недр под южной частью Монголо-Байкальской горной системы с помощью хотя бы косвенных — геофизических методов. И эта работа была начата в Институте земной коры.

Во-вторых, нужно было знать, где, когда и какой примерно силы землетрясения происходили в Монголии в прошлом. Были собраны все доступные материалы, сопоставлены с известным на начало шестидесятых годов геологическим строением и рельефом Монголии. В. П. Солоненко составил первую карту сейсмического районирования Монголии мелкого масштаба, но именно она положила начало будущим специальным исследованиям по сейсмическому районированию МНР — социалистической страны, где быстрыми темпами развивается промышленность, строительство городов, электростанций и т. д.

В-третьих, весь собранный экспедицией материал позволил в целом подтвердить правильность «модели» землетрясения, намеченной при зимнем обследовании, уточнить некоторые ее детали, а также сделать более общие выводы.

Все показывало, что землетрясение происходило в условиях сжатия земной коры, причем (это было известно раньше) сжатия не местного, а свойственного земной коре под всей Центральной Азией. Кстати, сейчас есть убедительные, из опыта полученные данные, что земная кора материков в настоящее время находится в условиях сжатия. Лишь различие структуры, состава, мощности, физического состояния и физических свойств земной коры как по вертикали, так и по горизонтали и вдобавок меняющееся с течением времени приводит кое-где к растяжению. Этим и объясняется возникновение при землетрясениях зияющих на поверхности трещин и уходящих на значительную глубину сбросов, расседание растянутых в разные сто-

роны выпуклых изгибов земной коры, возможность заполнения полостей трещин минерализованными водными растворами и образования таким образом рудных жил и многое другое. Грандиозный пример растяжения коры — система впадин байкальского типа, прежде всего впадины самого Байкала. Но как ни длинна вся эта система (более 2000 км) и как ни велика сама байкальская впадина, для земной коры всей Монголо-Сибирской горной системы это частный, местный случай.

Господство в современную эпоху сжатия земной коры над частными случаями ее растяжения — явление общепризнанное*. Но ведь сжимается неоднородная кора, и если к общему сжатию добавить еще горизонтальные напряжения определенного направления, то силовое поле существенно изменится, а земная кора будет деформироваться в соответствии с дополнительными механическими усилиями. Сейчас в науке существует мнение, подтверждаемое, действительно, многими фактами, что жесткая плита земной коры Индостана очень медленно и уже давно движется к северу и северо-востоку, встречая при этом сопротивление со стороны жесткой массы Северной Азии. Таким образом, имеет место стресс (напряжение), направленный на северо-восток и сжимающий пластические массы перед собой (Гималаи, Памир). Под воздействием такого горизонтального стресса находится и Монголо-Сибирская система, более того, она во многом обязана ему своей динамикой и самым горообразованием. В самом деле, если сжимающие усилия направлены примерно вдоль впадин байкальского типа, то это нисколько не мешает их существованию в условиях дополнительного поперечного растяжения. Зато структуры северо-западного простирания как древние, так и новейшие неизбежно будут таким напряжением сжиматься. Как раз таковы цепи Монгольского и Гобийского Алтая. Сейчас мы увидим, что из такого силового поля в земной коре следует и сама «модель» Гоби-Алтайского землетрясения.

Громадный разлом, разделяющий на глубине Долину Озер и Гобийский Алтай, существует, по крайней мере, несколько десятков миллионов лет. Он был

* Здесь речь идет только о материках. В земной коре под океанами преобладает, по-видимому, растяжение.

«готов» к началу землетрясения, как зона определенной слабости в земной коре. В момент, когда накопление напряжений в коре, вызванных стрессом (как мы помним, его вектор направлен на северо-восток), достигло критической величины, разразилось землетрясение, но оно было только немедленным следствием глубинной деформации, бывшей в очаге землетрясения. Как мы видим теперь из материалов экспедиции, ядро гор Гобийского Алтая на отрезке около 300 км было выдавлено вверх и отчасти надвинуто, «навалено» на прилегающие подгорные равнины. Выжимание такого ядра вверх с неизбежностью вело к снятию внутренних усилий, а под влиянием собственного веса — к расседанию его в обе стороны — больше к северу (по направлению стресса), меньше к югу. Таким образом объясняется подъем массива Их-Богдо вверх, образование надвигов и форбергов симметрично по его южным и северным подножьям. Но при этом еще имел место сдвиг, причем левый, когда Долина Озер переместилась относительно гор к западу, а горы относительно долины — к востоку. Каково же было абсолютное смещение, в какую сторону? Вся сумма фактов показывала, что «активное» движение к востоку совершал массив Их-Богдо. Замыкание главных, северной и южной, трещин на перемычке между Их- и Бага-Богдо и минимальные разрывы в районе последнего указывали, что он оказался своего рода упором, преградой для развития землетрясения к востоку.

Что же могло при такой динамической «модели» быть причиной горизонтального сдвига, достигавшего на перемычке 9 с лишним метров? Проще всего объяснить тем, что направление горизонтального стресса, повинного за все явления и деформации сжатия, составляло не прямой угол с простиранием древнего Долиноозерского разрыва, а отклонялось больше к востоку. В такой ситуации, которую легко изобразить с помощью параллелограмма сил, южное нагорное «крыло» разлома должно было сдвинуться именно к востоку относительно северного, низинного, «крыла». Тот факт, что вдоль разлома Богдо сдвиг был выражен по-разному и на отдельных, казалось, совсем исчезал (как исчезали иногда сбросы или не проявляли себя надвиги), и что могло бы озадачить при обсуждении нашей «модели» землетрясения, показывает лишь, что в эту простую схему динамики и кинематики земле-

трясения (заметим, что глубина его очага оценивается в 30—35 км от поверхности) входит много дополнительных моментов, учесть которые пока вообще невозможно. Нет сомнений, что к таким моментам относится сложная структура земной коры на разных глубинах и на разных отрезках пришедшего в движение, так сказать, генерального разлома Богдо и связанных с ним, как говорят геологи, оперяющих разломов.

При экспедиционном изучении Гоби-Алтайского землетрясения обнаружилось одно обстоятельство, казалось бы, маловажное, но положившее начало новому приему или методу оценки степени сейсмичности какой-либо территории, плохо или совсем не изученной в этом отношении. Оказалось, что мелкие, с небольшим размахом (в единицы метров) перемещения — древние сбросы, сдвиги и иные деформации слоев в отложениях геологического прошлого — по всем своим внешним признакам неотличимы от современных сбросов, сдвигов и пр., возникших при 11-балльном землетрясении и именно им-то и образованных. Возникла простая догадка: видимые в обнажениях (досовременных) отложений разрывы — это тоже следы землетрясений, но бывших в далеком прошлом, утративших свое выражение на земной поверхности, своего рода «ископаемых». Но этого мало. Современные деформации земной поверхности, называемые сейсмодислокациями, настолько характерны и нередко находятся в таком «противоречии» с рельефом, на который они как бы наложены, что даже в полустертом времени виде могут быть замечены и, таким образом, будут свидетельствовать о ранее бывших в таких местах сильных землетрясениях. Понятно, как это важно при изучении и попытках оценить степень современной сейсмичности (для целей того же сейсмического районирования, так необходимого народному хозяйству) тех территорий, для которых мы не имеем соответствующих исторических сведений и возможности перенести в какой-то степени опыт исторического прошлого на настоящее время. Вскоре такие то бесспорные, то предположительные следы бывших когда-то, но никому теперь не известных землетрясений, были обнаружены в разных частях Монголо-Сибирской горной страны и, понятно, сыграли огромную роль в их сейсмическом районировании. Такой метод был довольно

детально разработан в Институте земной коры, сейчас разрабатывается и применяется в других районах Советского Союза, а также и за рубежом. Поскольку исследователи отыскивают и находят следы не современных, а древних, доисторических сейсмодислокаций, в отличие от последних они называются палеосейсмодислокациями.

Институт земной коры совместно с монгольскими геологами и сейсмологами продолжает изучение сейсмичности Сибири и Монголии, а также и за их пределами — в Средней Азии, на Кавказе и пр. Особенно широкие и всесторонние исследования проводятся на территории МНР, которую можно считать классической внутриконтинентальной сейсмической областью, а в нашем столетии, быть может, наиболее активной частью всего трансзиатского сейсмического пояса. По новым данным, получается, что даже Ашаньское, не меньше чем 11-балльное землетрясение 1931 года в Китайской Джунгарии, никем не посещаемое и не описанное, возможно, имело свой эпицентр на Крайнем Западе МНР, в Монгольском Алтае. Видимые сейчас чередующиеся ямы и бугры тянутся на расстоянии сотен километров к западу от Кобдо и говорят о подобном же грандиозном землетрясении, бывшем поблизости от Ашаньского несколько сот лет тому назад. Главный «шов» этого землетрясения разорвал древнетюркский могильный курган (VI—VIII вв. н. э), но в своем реальном проявлении не остался в памяти монголов. Бугры и ямы по трассе этого мощного сейсмического разрыва называют «сартагтай морь» по-монгольски, или «казарат-дали» по-казахски, а это в обоих случаях означает «след богатырского коня».

Мы довольно подробно рассказали о южносибирских и северо-монгольских землетрясениях, чтобы показать, насколько важна их роль в деформации земной поверхности, следовательно, и в образовании гор. Конечно, сильнейшие землетрясения, по человеческим понятиям, происходят редко, но все же преимущественно и чаще в горных областях. Поэтому землетрясения, несомненно, должны быть причислены к скульпторам гор, притом вовсе не второстепенным. Как говорили в старину, к мастерам, а не к подмастерьям.

Человек, естественно, воспринимает сильное землетрясение, как одно из величайших бедствий и можно уверенно сказать, что его отношение к подобным явле-

ниям природы очень долго не изменится. А для самой природы и, в частности, для жизни гор, все это лишь отдельные, еле заметные эпизоды. Только их результаты, накопившиеся в течение десятилетий, сотен тысячелетий и миллионолетий, действительно существенно влияют на создание гор и вообще на рельеф земной поверхности. Да и то при условии однообразно направленного их действия, когда множество отдельных эпизодов в изменении земной поверхности в этом смысле слова однозначны и ведут либо к подъему какого-то блока земной коры, либо к его сдвигу по горизонтали. Действительно изменения, вносимые в формы земной поверхности даже очень сильными подземными толчками, подобными Муйским или Гоби-Алтайским, со временем могут сглаживаться и даже полностью исчезать под влиянием поверхностных сил — выветривания, смыва и проч. В этом смысле только интегрирование всех воздействий на земную поверхность как снизу, из недр, так и сверху и их осреднение поясняет нам современную картину рельефа, но тут необходимо учитывать еще установленный исторической геологией факт: преобладание в некоторых районах Земли поднятий, в других — погружений в течение огромных промежутков времени. Вспомним, действительно, о так называемых возрожденных горах. Это и некоторые другие соображения склоняют многих ученых к мысли, что именно землетрясения, импульсивные толчки, как ни редко они случаются, а не медленные всплывания земной коры с подъемом на несколько миллиметров в год, создают горные сооружения и их главные скульптурные формы.

Не следует обольщаться мыслью, что скоро мы научимся точно предсказывать место, силу и, главное, время наступления сильного землетрясения и тем самым получим возможность хотя бы заблаговременной эвакуации населения из опасных мест и опасных зданий. Что касается места и вероятной максимальной силы землетрясения, то для их предсказания и делается, и сделано уже немало — для Восточной Сибири, в особенности трассы БАМа и прилегающих площадей, а также для территории МНР преимущественно силами Института земной коры. В его распоряжении имеется довольно густая сеть непрерывно действующих сейсмических станций, сильный коллектив сейсмологов и сейсмогеологов, современное высокоточное оборудова-

ние. Шаг за шагом уточняется сейсмическое районирование, необходимое не столько для выбора местоположения строительных объектов, но и таких конструкций самих сооружений, при которых они противостояли бы подземным толчкам наилучшим образом. В этом смысле Институт земной коры уже завоевал большой авторитет. Что же касается прогноза времени сильного землетрясения, то здесь, повторим еще раз, вся мировая наука стоит на пути поисков, иногда некоторых успехов, чаще разочарований, крушения надежд и новых всплесков оптимизма. Эту, может быть, самую сокровенную тайну Земля продолжает ревниво хранить. На пока дальних подступах к раскрытию этой тайны предстоят еще огромные усилия.

ВУЛКАНЫ КАК СТРОИТЕЛИ ГОР И КАНАЛЫ СВЯЗИ С НЕДРАМИ

Кто видеть хочет, сколько землетрясение и огнедышащие горы слоев и внутренностей земных открывают, тот поди в горы каменистые, главные и меньшие; смотри, как лежат великие кабаны и звена дикого серого камня; увидит иные положены порядочно слоями, иные наподобие развалин опровергнутого великого каменного здания разгроможденные.

М. В. Ломоносов

О вулканах мы говорим обычно так же уважительно, как и о землетрясениях. Те и другие — наиболее очевидные, могущественные грозные явления глубинной энергии земной коры. И о тех, и о других нередко сообщается в газетах. И тот факт, что в среде неспециалистов вулканические извержения и землетрясения становятся обычно рядом, не случаен. Физически совершенно различные, те и другие явления нередко связаны в своем географическом распространении, причем тем более тесно, чем более обширные площади мы рассматриваем. В масштабе всего земного шара те и другие составляют общие протяженные полосы, совпадающие с областями наиболее контрастного рельефа — горными поясами. Два главных пояса такого

«совмещения», казалось бы, разных явлений — Альпийско-Индонезийский, соединяющий Атлантический океан с Юго-Восточной Азией, и Тихоокеанский пояс, охватывающий периферию этого океана. Уже одно это обстоятельство ясно показывает, что между сейсмичностью и вулканизмом имеется глубокая не только пространственная, но и причинная связь, корни которой уходят в земную кору. Однако формы такой связи сложны и многообразны.

Для современной эпохи необходимо признать более широкое распространение сейсмических явлений по сравнению с вулканическими. Скорее всего, так было и в геологическом прошлом. Объяснение этого можно видеть в том, что сейсмические напряжения накапливаются в земной коре хотя и неравномерно, но непрерывно и, вероятно, почти повсеместно, то и дело разряжаясь в сейсмических очагах. Напротив, условия проницаемости верхних частей земной коры для вулканических расплавов более сложны и изменчивы. Для извержений стихийного масштаба необходимо наличие в коре каналов, глубинных трещин или близость очагов расплавления и скопления газов к земной поверхности, либо, а вероятно всегда, того и другого вместе.

Вулканическим извержениям в истории Земли и ее коры принадлежит совершенно особое место. Как мы увидим ниже, вулканы-индивиды, вулканы-особи существуют, в геологическом смысле, недолго — несколько десятков тысячелетий, но зато они оставляют после себя обильные и характерные вещественные следы, способные сохраняться в земной коре многие десятки миллионов лет и более. Они составляют едва ли не половину всей геолого-исторической «документации» в летописи земной коры.

Интерес к вулканическим явлениям на первых ступенях человеческой истории был, конечно, интересом поневоле. Чудовищная разрушительная сила, грандиозность зрелища сильных извержений и другие атрибуты вулканизма обеспечили ему важное место во всех древних религиях и мифологиях. Но необыкновенно рано проснулся к наблюдению вулканов и чисто научный интерес. Еще за пять веков до нашей эры знаменитый мыслитель древности грек Эмпедокл вел на склоне лет систематические наблюдения за вулканом Этна в Сицилии. Известное, вполне научное опи-

сание печально знаменитого гибелью Помпей извержения Везувия в Италии оставил Плиний Младший в I веке нашей эры.

Сейчас изучение вулканов ведется во многих странах. Давно изучается на специальной вулканологической станции режим Везувия. Систематически ведутся наблюдения над Гавайскими вулканами, в Японии, Новой Зеландии и других вулканических районах. У нас на Камчатке систематические наблюдения за вулканами ведутся уже почти 50 лет, вначале силами небольшой станции в пос. Ключи близ Ключевского вулкана, а в последние 25 лет — целым научным коллективом Института вулканологии Дальневосточного научного центра Академии наук СССР в Петропавловске-Камчатском.

В наших краях нет действующих вулканов, но есть разрозненные, местами хорошо сохранившиеся следы доисторических, а в геологическом смысле — очень молодых вулканических извержений.

Вещественные следы былых извержений в Монголо-Сибирской горной стране обратили на себя внимание самых первых ее исследователей, среди них П. А. Кропоткина, которому мы обязаны первым подлинно научным подходом к горному рельефу Сибири. Но вулканы сами по себе и «вулканическая» жизнь всей земной коры не одно и то же. Вулканы — лишь малая доля проявлений вулканизма. Поэтому сделаем здесь небольшую остановку.

Вулканизм как процесс поднятия горячих, расплавленных масс и раскаленных газов — явление космическое. Оно свойственно и звездам (наше Солнце тому пример), и планетам, сохраняющим достаточный запас внутреннего тепла. Мы имеем в виду только планеты Солнечной системы. Подобные земным вулканы имеются на Марсе и Венере. Марсианский вулкан Никс Олимпик (олимпийский победитель) — величайший пока во всей Солнечной системе, его высота — около 25 км — превышает вертикальный размах всех неровностей Земли, равный 20 км. Бесчисленные кратеры, видимые на поверхности Луны и Меркурия, в громадном большинстве имеют ударное происхождение, они образованы при падении метеоритов.

Горячие жидкие и полужидкие массы и газы (флюиды), поднимающиеся из недр Земли, как и других небесных тел, могут на своем пути остановиться, всту-

пить в сложные реакции с окружающей средой, раскристаллизоваться на глубине. Вероятно, такова судьба основного объема, поднимающегося из недр вещества. Другая часть в виде лав и газов достигает твердой поверхности планет. Все связанные с этим явления называются поверхностным вулканизмом в отличие от явлений плавления, движения и остывания вещества на глубине, называемых плутоническими. Забегая вперед, укажем, что в процессах горообразования огромную роль играют и вулканические, и плутонические процессы, но они выступают в разном качестве, разном количестве и, вероятно, не всегда совпадают во времени. В видимых нами непосредственно конструкциях гор и образующем их материале плутонические породы чаще всего древнее и много древнее самих гор, как и следовало ожидать. Они давным-давно застыли на глубине, а подняты вверх и стали доступными для нас именно из-за самого горообразования.

Есть, впрочем, класс горных пород магматического происхождения, которые образовались не на большой глубине и не на земной поверхности, а близко от нее, на малой глубине. Их так называют — гипабиссальными, потресчески «малоглубинными».

В наших горах широко и в великом разнообразии представлены все эти типы и классы магматических горных пород. По их распространению и, как говорят, по представительности, типичности Забайкалье занимает одно из первых, если не первое место в Советском Союзе.

Вулканические постройки земной поверхности по форме очень разнообразны, но это разнообразие все же может быть сведено в немногие группы, внутри которых вулканические тела отличаются друг от друга только в деталях и размерах. Понятно, что и состав их неодинаков ни по химизму, ни по набору составляющих породы минералов, ни по внутренним структурам, ни по многим другим признакам. Однако опытный геолог, как правило, всегда отличит вулканическую породу от всякой другой.

Учение о вулканах и вулканической деятельности в наши дни разрослось в особую большую науку геологического цикла — вулканологию. Это и понятно, так как, с одной стороны, вулканизм в самом широком смысле (перемещение тепловой энергии и масс веществ

ва из недр по направлению к поверхности Земли) — главный двигатель и в то же время первый свидетель глубинной жизни нашей планеты, а с другой — источник большей части и притом наиболее ценных полезных ископаемых.

Сущность физики вулканизма крайне проста — тепловая энергия перемещается от очагов разогрева и плавления в сторону менее нагретых тел — в сторону земной коры и ее поверхности. Эта ясность существа основной причины вулканизма отличает его от гораздо менее понятных в своей первооснове сейсмических явлений и даже тектонических явлений и деформаций. Скорее всего, тектонические явления и их частные импульсивные формы — землетрясения — связаны с одной первопричиной: с глубинным вулканизмом, от которого зависят так называемые тепловые режимы разных эпох в жизни Земли и разных территорий в одно и то же время, например в современную эпоху.

А теперь посмотрим, какими средствами и путями вулканы осуществляют на поверхности свои «строительные функции» вообще и что в этом смысле сделали ими в горах Южной Сибири и Северной Монголии.

Начнем с главного. «Поведение» вулканов, то есть тип и режим вулканических извержений, образуемые ими формы накоплений вулканических продуктов на земной поверхности, та или иная роль в образовании, как и в преобразовании горного рельефа, — все это, оказывается, следствие химического состава, магмы, дошедшей до поверхности и ставшей лавой, и насыщение лавы газами и парами, причем эти летучие газобразные продукты извержений в иных случаях способны играть самостоятельную роль. При этом извержение представляет собой массовый и весьма кратковременный выброс газов на поверхность, то есть взрыв. Такие извержения — одни из самых ужасных.

Впрочем, это самая общая схема. В действительности вулканические извержения очень разнообразны. Ведь не только в самом вулканическом, выносимом из недр материале дело, но и в окружающей среде. Так, вулканические явления можно подразделить на подземные, наземные и подводные. Все они широко распространены в природе, происходили в течение всей геологической истории и происходят сейчас. Понятно, что для непосредственного наблюдения доступны только наземные и отчасти подводные извержения. По-

нятно также, что остывание расплавленного материала, в той или иной степени горячего, плотного, вязкого и текучего, зависит прежде всего от внешней среды. Наиболее быстрое охлаждение и потери газообразных веществ будут иметь место под водой, наиболее медленное — в подземных условиях. Промежуточная обстановка характеризует наземные (субаэральные) извержения. При очень быстром остывании силикатный расплав, отвердевая, превращается в вулканическое стекло, по виду очень близкое к искусственному стеклу, которое, несмотря на свою твердость, в физическом смысле представляет собой переохлажденную жидкость. Вулканические стекла (перлиты, обсидианы) довольно прозрачны. Под микроскопом видно, что они содержат массу мелких кристаллизаций и, следовательно, образовались первыми. В более глубоких частях остывших лавовых потоков стекло может совсем отсутствовать: расплав в них полностью раскристаллизовался, но рост кристаллов был все же быстрым и несовершенным. Лишь в условиях значительных глубин силикатный расплав, в какой-то мере всегда обогащенный газами и (среди них укажем самые распространенные: пары воды, угарный газ, уголекислоту, двуокись серы, водород, азот, хлор, фтор, метан, аммиак), которые, взаимодействуя с окружающими (геологи говорят, «вмещающими») породами, улетучиваются медленно, медленно же и охлаждаются и поэтому полностью раскристаллизовываются. Такой процесс в зависимости от объема магматического расплава и глубины его «остановки» в земной коре может длиться миллионы лет. Тела магматических пород, образовавшиеся подобным образом, называются интрузивными, то есть внедренными, в отличие от застывших после выхода на поверхность лавовых масс, называемых эффузивными, то есть излившимися.

Так как магма, ставшая на поверхности лавой, состоит из смеси веществ в разных состояниях: твердом (кристаллы), жидком и газообразном, имеет очень высокую температуру (обычно выше 1000°C), сложный химический состав и, наконец, вступает во взаимодействие с окружающей средой, то изучение свежих продуктов вулканического извержения — дело не только опасное, но и трудное. Зато оно очень важно для понимания металлургических, петрологических (каменнолитейных) и других технологических процессов, а

также явлений, идущих в земной коре на недоступных человеку глубинах. Изучение вулканических процессов, протекающих на глазах человека, помогает представить себе, каким образом вулканизм протекал в геологическом прошлом нашей планеты и даже, в конечном счете, как образовалась земная кора.

Как мы видели еще в первой главе, в происхождении не только земной коры, но и планеты в целом среди ученых до сих пор нет полного единомыслия. Нет, да и не может быть. К познанию такого сложного объекта, как наша Земля, предстоит еще долго, долго приближаться и, как учит философия, овладеть им всецело как абсолютной истиной вообще никогда не удастся. И все-таки, сравнивая наши знания о Земле и ее коре с теми знаниями, которые принесло изучение других планет Солнечной системы, можно утверждать, что на самых ранних стадиях развития планет уже в процессе аккреции (слипания) частиц протопланетного вещества, гравитационного сжатия и разогрева на поверхности юных небесных тел нашего мира безраздельно господствовал вулканизм. Молодая тонкая земная кора была, конечно, более проницаемой для расплавленных масс и раскаленных газов и должна была легко взламываться под их напором. Из вулканических газов и паров стали создаваться первичная атмосфера и затем гидросфера. При этом вряд ли на такой Земле 4—4,5 млрд. лет тому назад могли существовать вулканические постройки и вулканические ландшафты, подобные современным земным. Скорее всего, в этом безмерно удаленном от нас прошлом не было вулканов в виде конических гор, узких потоков, куполов и т. д. Извержения происходили массовые, изливались на поверхность по глубоким и протяженным трещинам огромные объемы лав. Такие извержения принято называть ареальными, то есть площадными.

Наиболее общей причиной разнообразия в поведении вулканов надо считать состав первичной магмы, достигающей земной поверхности и превращающейся в лаву, а также ее насыщенность газами. Такое разделение по химическому признаку и предполагает, что магмы и образующиеся из них породы неодинаково богаты кремнекислотой и ее соединениями с глиноземом и относительно бедны железом и магнием (кислые лавы, например, риолиты), содержат алюмосиликаты и окислы в меньшем количестве (средние лавы, напри-

мер, андезиты), еще менее содержат кремнекислоты и ее соединений при относительном богатстве железом и магнием (основные лавы, базальты). Большое значение имеет относительное содержание щелочных металлов: калия и натрия. Между главными химическими типами лав много переходов и соответственно промежуточных типов горных пород. Кислые лавы обычно очень вязки и малоподвижны, а основные жидки, текучи, подвижны, очень похожи на металлургические шлаки. Массы кислых лав выжимаются из отверстий вулканов только при громадном давлении внутренних газов и поэтому образуют на выходах купола, обелиски, выдвинутые из жерл вулканов пробки в виде узких пирамид и неправильных цилиндров. Основные лавы широко растекаются от кратеров вулканов, образуя потоки, покровы, полностью и порой на большом пространстве погребая под собой неровности рельефа. В таких случаях возникают лавовые равнины, лавовые плато. Кислые лавы часто застывают спокойно, основные же «кипят», выделяют массу газов, образуя и вновь разламывая, расплавляя затвердевшую шлаковую корку. При окончательном остывании очередной порции лав и шлаков постепенно создаются то стройные вулканические конусы, то хаотические нагромождения с очень неровной поверхностью (так называемые глыбовые лавы) и масса других как переходных, так и совершенно своеобразных форм. Все эти явления, продукты и формы рельефа демонстрируют как бы созидательную, аккумулятивную роль вулканизма.

Вулканические постройки могут расти чрезвычайно быстро, чему люди нередко были свидетелями, могут достигать огромных размеров и высот, выступать вверх далеко за снеговую линию, где сейчас же начинается как бы борьба вулканов с растущими на них собственными горными ледниками. Высочайший вулкан нашей страны Ключевская сопка достигает высоты почти 5000 м, а самые высокие вулканы Земли, образующие Гавайские острова, несмотря на свои пологие склоны, составленные легко текучими основными лавами, поднимаются с глубин океана более 4000 м и возвышаются примерно на ту же высоту над уровнем океана. Срачиваясь друг с другом, соседние вулканы образуют огромные горные массивы. По величине вулканических построек можно мысленно со-

ставить длинный ряд, в начале которого поместится, скажем, всего небольшая трещина в земле, из которой выходит струйка сернистого газа. Так случилось, например, в 1945 г. на кукурузном поле мексиканского фермера, где уже через год со взрывами и истечением лав вырос вулкан Парикутин высотой 325 м. А на другом конце такого нашего ряда окажется гавайский вулкан Мауна-Лоа, полный рост которого (включая надводную и подводную части) составит высоту над уровнем моря величайшей вершины мира — Джомолунгмы (Эвереста).

Кроме лав, вулканы выбрасывают огромные массы затвердевших в полете капель лавы (бомбы, лапилли, пепел), обломки оторванных при извержении древних пород из основания и стенок вулкана, массу паров и газов. Вулканический пепел, совершив свой путь в атмосфере, может покрыть толстым слоем большие площади. Полурыхлые-полуспекшиеся массы, образующиеся при гигантских вулканических взрывах, например, при грандиозном извержении вулкана Шивелуч на Камчатке в 1956 г., могут покрыть собой даже значительные неровности рельефа и создать на их месте мертвые вулканические равнины. При особенно мощных взрывах уничтожаются громадные объемы самих вулканических построек, рельеф радикально изменяется. По-видимому, самым грандиозным за последние сто лет был взрыв, точнее, — серия взрывов вулкана Кракатау в Индонезии в 1883 г. Не один пример грандиозного взрыва и разрушения верхней части вулканов имел место в нашем веке на Камчатке.

Как ни буйствуют вулканы, сколь ни многократно они извергаются, в конце концов наступает их угасание, которое может быть, впрочем, и обманчивым. Угасая, вулкан переходит в стадию фумаролл (газовых струй), горячих источников, обычно сильно минерализованных. Эта конечная, поствулканическая стадия может завершиться полным уничтожением всех следов вулканической деятельности, и тогда непрерывно действующие на земной поверхности силы экзогенного разрушения, уже не встречая активного сопротивления со стороны вулканической постройки, скажем, в виде нового наращивания тела вулкана с неизбежностью довершат свою работу, создав на месте некогда грозного вулкана его грустные руины, иногда в виде некка, то есть вылущенной выветриванием ла-

новой пробки, когда-то заполнявшей вулканический канал. А переотложенные и перемытые, да еще многократно измельченные обломки вулканических лав, вначале слагавших конусы высоких гор, будут переноситься реками, ветрами, ледниками, морскими течениями и, отлагаясь на дне водоемов, положат начало осадочным слоистым породам.

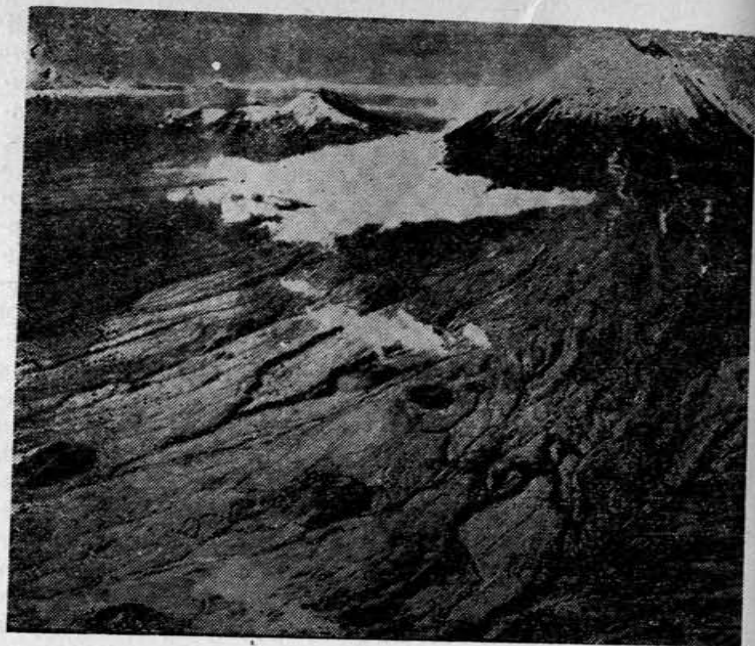
О вулканизме, его типах, о составе вулканических продуктов, о формах и размерах вулканических построек, о поведении вулканов, о режимах извержений, действующих то ритмично, то беспорядочно, то с перерывами, то практически непрерывно (например, вулкан Сангай в Южной Америке, названный «пылающим ужасом Анд»), можно говорить очень долго и, наверное, интересно, так как трудно назвать более зрелищное, величественное и яркое явление природы, которое могло бы соперничать с сильным вулканическим извержением. Но для нас хватит сказанного, напомнившего читателю самые основные сведения о вулканах и вулканизме. Теперь вернемся в свои края, а именно — в вулканическую область Юга Сибири и Севера Монголии. Что же известно сейчас о ней?

Восточная Сибирь и Монголия, лежащие в самой глубине Азиатского континента, как мы указывали, причислялись первыми исследователями этого края к древнейшему внутреннему ядру материка, которое постепенно обрастало со всех сторон новой сушей, бывшим дном древних морей, все далее отступавших от древнего темени. Впоследствии один из сторонников идеи о древнем темени Азии В. А. Обручев пришел к выводу, что в новейшее геологическое время жесткое, инертное, неколебимо стоявшее многие миллионы лет на своем месте древнее темя подвергалось воздействию тектонических сил и было приподнято, раздроблено на отдельные крупные блоки. Такое преобразование В. А. Обручев назвал «юными движениями на древнем темени Азии». Разрабатывая эту проблему, знаменитый русский геолог ввел в круг геологических представлений об истории Земли очень важные новые идеи и понятия, которые и поныне развиваются мировой наукой. Вообще здесь следует сказать, что геологические открытия, сделанные в свое время в Восточной Сибири и Центральной Азии русскими учеными, оказали огромное влияние на всю отечественную и мировую геологию.

Одним из конкретных проявлений «юных движений на древнем темени Азии» был, конечно, и юный вулканизм. Юный, но не современный. Деятельные вулканы, как известно, имеются сейчас на территории Советского Союза только на Камчатке и Курильских островах, где ими образованы высочайшие горы и где извержения лав, пирокластики и газов временами достигают колоссальной силы. Курило-Камчатская вулканическая область в этом смысле — область классическая. Но на втором месте по обилию следов молодого вулканизма после Курил и Камчатки в Советском Союзе оказывается Восточная Сибирь. Здесь нет грандиозных, так называемых стратовулканов — слоистых вулканов, образованных многими и многими извержениями и накоплением разнообразных вулканических продуктов типа, скажем, Ключевской сопки (кстати, одного из высочайших стратовулканов мира), но имеются хорошо сохранившиеся небольшие вулканические конусы, здесь нет ничего похожего на калячатскую Долину гейзеров, но имеется очень много термальных источников, а лавами местами покрыты значительные участки как на высоких горах, так и в речных долинах.

Совсем недалекое мысленное путешествие из Иркутска в Тункинскую долину, интересное и само по себе, позволит нам прикоснуться к остаткам сибирских вулканов.

Первое, с чем мы встретимся, — лежащие прямо на поверхности обломки плотной, ноздреватой темно-серой или сине-черной лавы в окрестностях Култука. В их свежем изломе можно рассмотреть мелкие кристаллы полевого шпата, но в целом порода плотная, не раскристаллизованная, что свидетельствует о ее быстром остывании на поверхности, о чем говорят также повышенная пористость, ноздреватость отдельных образцов. Подобное сложение, как говорят геологи, текстура породы связана с выделением пузырей газа при выходе лавы на поверхность в верхних частях лавовых потоков. Так образуются, например, пемзы, каменные «губки», в которых объем пор настолько превосходит объем твердой породы, что они свободно плавают на водной поверхности. Лавы в окрестностях Култука, в районе гольца Камар, куда ведет туристский маршрут из Слюдянки, наконец, обломки и выходы тех же вулканических пород в районе с. Быстрой и



КЛЮЧЕВСКОЙ ВУЛКАН. СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН. В ПОДНОЖЬЯХ ВУЛКАНА ВИДНЫ МАЛЕНЬКИЕ ШЛАКОВЫЕ КОНУСЫ.
(Фото из «Атласа вулканов»)



ВУЛКАН КРАШЕНИННИКОВА. ВИД С ВЕРХУ.
(Фото из «Атласа вулканов»)



КРОПОЦКИЙ ВУЛКАН НА КАМЧАТКЕ. ВИДЕН ЗВЕЗДООБРАЗНЫЙ ЛЕДНИК НА ВЕРШИНЕ ВУЛКАНА.
(Фото из «Атласа вулканов»)

близ дома отдыха Анчук, все это — базальты, то есть основные, сравнительно бедные кремнекислотой, с повышенным содержанием железа и магния вулканические породы, наиболее распространенные на Земле, причем как на суше, так и в океанах. Вспомним, что нижняя часть земной коры носит название базальтового слоя, отделенного от вышележащего гранитно-метаморфического слоя так называемой поверхностью Конрада. Этот термин, предложенный в свое время сейсмологами, хотя и сохраняется, но только условно, так как он неточен.

Прямо напротив Анчука, на левом берегу Иркутка, в береговых обнажениях видно, как базальты в виде небольшого горизонтального покрова лежат на наклонных слоях песчаников. Осматривая это обнажение, мы можем сделать очень важный геологический вывод, имеющий в геологии общее значение, как один из самых главных принципов в понимании временных взаимоотношений между горными породами. Действи-

тельно, мы видим, что слои песчаников имеют довольно крутой наклон, несомненно вторичный, так как в таком положении на дне водоема они не могли бы образоваться. Значит, какими-то силами они были выведены из первоначального состояния, на геологическом языке — испытали дислокацию. Но в том же обнажении мы видим только часть слоев. Другая часть (вдоль по наклону слоев) уходит под урез воды и невидима, а продолжение слоев вверх размыто, срезано, на что понадобилось, конечно, немало времени. Только после срезания слоев в ходе выветривания и размыва на их поверхность с несогласием излились базальтовые лавы. Слово «несогласие» здесь обозначает не только непараллельность напластований поверхности размыва, на которую налегли лавы, но и очевидный перерыв во времени следующих друг за другом событий. Получается, что формула такой последовательности: накопление осадков — их дислокация — размыв — накопление лав и новых, более молодых слоев дает геологам возможность в гораздо более крупных масштабах, когда дело идет о толщах и сериях слоев огромной мощности, определять их временные соотношения, то есть относительный возраст. В обнажении на Иркуте, близ Анчука, слои имеют позднеэоценовый (плиоценовый) возраст, а лавы изливались несколько позже, но тоже в плиоцене или уже в четвертичном периоде. Учтем, что покров базальта у Анчука дошел до нашего времени уже частично разрушенным и размывым р. Иркутом. Так, мы вместе, дорогой читатель, прочитали страницу из геологической истории пусть и небольшого участка Прибайкалья.

Далее, двигаясь на запад по шоссе, мы пересекаем границу Иркутской области и Бурятии, попадаем в просторную Торскую котловину, огороженную с севера высокой горной стеной, быстро повышающейся к западу и переходящей в знаменитые своей красотой и величием Тункинские гольцы, или белки. Белками в Сибири называют горные вершины, большую часть года сохраняющие шапки снега, а местами и нетающие ледники. Такова, например, высочайшая в Сибири гора Белуха на Алтае. А в старой литературе Тункинские гольцы, или белки, назывались еще Альпами, их сравнивали с прославленными своей живописностью европейскими Альпами. Но вернемся к нашему маршруту.

Следуя правым берегом вверх по течению Иркуты, мы увидим, как Торская равнина замыкается на западе сравнительно низкой возвышенностью — Еловским отрогом, а затем, сразу у поворота дороги на курорт Аршан, горы вновь широко расступаются, и мы попадаем в собственно Тункинскую долину — одно из красивейших мест Сибири. Направляясь прямо на север в сторону Аршана, скоро мы увидим разбросанные по равнине отдельные невысокие холмы, известные как «тункинские вулканы». Однако большинство этих холмов, хотя и сложено пузыристой базальтовой лавой и вулканическими шлаками, ничем другим не напоминает настоящие шлаковые конусы, которые в таком обилии встречаются в районах современного вулканизма. Рассматривая эти холмы в плане, один из бывших здесь ученых, профессор В. Н. Лодочников, пытался объяснить их расположение и состав глубоким размывом одного бывшего здесь очень крупного пологосклоненного вулкана типа современных гавайских вулканов, но оказалось, что это не совсем так. Но вот на подъезде к Аршану мы видим справа от дороги довольно высокий холм в виде усеченного конуса. Да, это настоящий, хотя и очень маленький вулкан, кратер которого окружен крутой кольцевой стенкой лав, туфов, шлаков. Вокруг него валяются закрученные и застывшие при полете клочья лавы — вулканические бомбы. Местные буряты называют этот холм Хара-Болдок. Некоторые называют его вулканом Черского. Севернее, близ подошвы Тункинских гольцов, здесь обнаружен и второй вулкан примерно таких же размеров, а Еловский острог и его западные склоны оказались построенными из рыхлых песчаников, глинистых прослоев и пластообразных залежей базальтов, лавы которых, несомненно, изливались из близлежащих каналов.

При поисках в начале 50-х годов в Прибайкалье месторождений нефти и газа в этом районе была пробурена глубокая скважина. Она прошла сквозь толщу песчаников, песков, глин, базальтовых туфов и лав и была в этой толще остановлена, не достигнув ее низов, на глубине почти 2000 м. Скважина пересекла 70 слоев, или потоков вулканических пород того же базальтового состава, что и в холмах на поверхности Тункинской впадины и в упомянутых двух вулканах. Тогда стало несомненно, что Тункинская впадина, заполня-

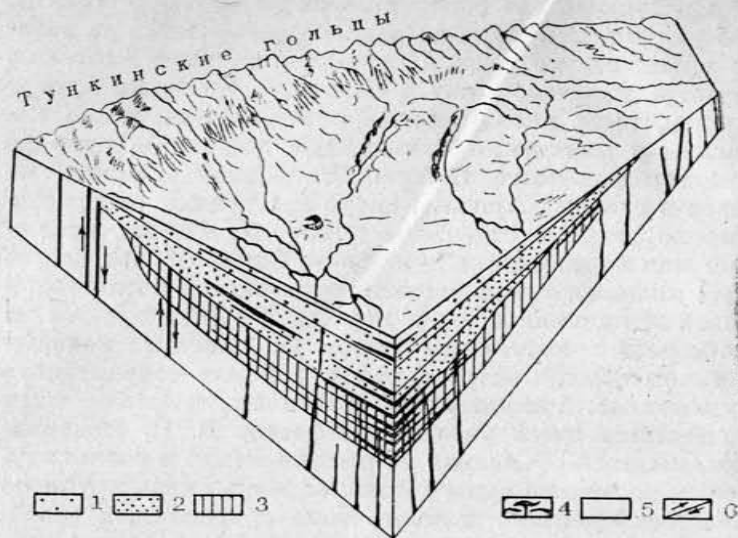


Рис. 5. НАГЛЯДНОЕ ОБЪЕМНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ (БЛОК-ДИАГРАММА) ЧАСТИ ТУНКИНСКОГО РИФТА. ПО Н. А. ЛОГАЧЕВУ (упрощенно).

1 — четвертичные отложения; 2 — отложения зооплейстоцена; 3 — отложения миоцена (частично позднего палеогена), местами угленосные (танхойская свита); 4 — базальтовые лавы и туфы; 5 — докембрийский фундамент; 6 — сбросы.

ясь осадками, была когда-то ареной многочисленных, весьма растянутых во времени вулканических извержений, чередовавшихся с периодами затишья. Извержения были то спокойными, когда жидкая лава изливалась на поверхность по вертикальным каналам или трещинам, то бурными, в виде сильных взрывов (эксплозий) и покрывавшими землю плащом пирокластов — огненно-обломочных наслоений. На блок-диаграмме (рис. 5) изображен как бы итог всех этих событий. Они начались в неогене и продолжались в четвертичном периоде. Один из последних лавовых потоков, приподняв и разломав созданные на его же поверхности шлаковые конусы, как бы растащил их остатки по поверхности впадины и оставил здесь в виде шлаковых и туфовых холмов. Последним актом базальтового вулканизма в Тункинской впадине было, по-видимому, образование упомянутых двух вулканов. Как давно это было? На шлаковых холмах были найдены орудия древнекаменного века (позднего палеолита), значит, в самом конце последней ледниковой эпо-

хи — 10-20 тыс. лет тому назад — наши предки бывали на уже остывших вулканических холмах. Что касается двух тункинских вулканов, то они образовались, несомненно, уже в неолите (новокаменном веке) несколько тысячелетий тому назад.

Интересно, что если Тункинская буровая скважина встретила последний сверху (т. е. самый ранний) базальтовый поток на глубине почти 1400 м ниже уровня моря, то сходного, если не одинакового состава базальтовые покровы на Тункинских, Китойских гольцах и в Хамар-Дабане, к югу от Иркутска, лежат на отметках 2200—2800 м выше уровня моря. Невозможно себе представить, чтобы базальтовые лавы изливались одновременно на находящиеся поблизости ровные поверхности с перепадом высот между ними в 3500—4000 м. Это определенно настораживает и заставляет думать, что либо ровная поверхность, предшествовавшая излиянию лав, была единой, а потом была разорвана, и ее части переместились по вертикали на такую величину относительно друг друга, либо эти излияния были геологически неодновременны: на месте нынешних Тункинских гольцов и на дне Тункинской впадины лавы поднимались вверх по разным каналам. Потом мы увидим, что гораздо ближе к истине вторая точка зрения, но первую тоже нельзя отвергнуть полностью.

Продолжаем наше путешествие по Тункинскому тракту, минуем центр Тункинского аймака Кырен, затем селение Туран, откуда ведет дорога на курорт Нилова Пустынь, и наконец мы в небольшой Мондинской впадине, где, как помним, в 1950 году было сильное землетрясение. Здесь, на водоразделе, находится Солнечная обсерватория Иркутского академического института земного магнетизма и ионосферы. Этот водораздел почти полностью сложен горизонтальными потоками базальтов, но молодых вулканических построек здесь нет. Раньше считалось, что на речке Хулугайше обнажена часть небольшого вулкана, но потом выяснилось, что это лишь часть довольно древнего базальтового потока.

Переместимся теперь на северо-запад, за Тункинские гольцы, в самую глубь Восточного Саяна, на так называемое Окинское плоскогорье, или плато. Меньше часа требуется для этого на самолете, а автор этой книги с товарищами в довоенные годы добирался ту-

да верхом не меньше трех суток. Здесь находится своеобразный узел верховьев рек Оки, Иркуты, Белой, Китоя. Известный русский геолог и географ С. В. Обручев удачно сравнил Окинское плоскогорье с Тибетским в миниатюре: оно так же, как Тибет, окружено высокими горными цепями. Но главная особенность Окинского плато — массовое развитие потоков и покровов базальтовых лав, во многих местах слагающих плоские водоразделы. Местами толщи горизонтально наложенных лавовых потоков и покровов еще не прорезаны на всю мощность речными долинами. От Окинского плоскогорья вулканическая область Восточного Саяна уходит на запад, в пределы Тувы. Основной объем базальтовых лав повсюду здесь образовался в доледниково (дочетвертичное) время, но и на бурятской, и на тувинской стороне имеется немало очень молодых вулканов, сложенных, как и в Тункинском крае, главным образом базальтовыми шлаками. Среди них наиболее известны вулканы Кропоткина и Перетолчина в долине одного из притоков реки Оки, на северной окраине Окинского плоскогорья. Конусы обоих вулканов прекрасно сохранились. Сложены они пузырчатыми шлаками, имеют высоту: первый — 90, второй — 120 м. Оба находятся недалеко друг от друга, на базальтовом потоке, некогда разлившимся на всю ширину долины и протянувшимся по ней на 70 км. Поверхность потока еще не успела покрыться почвенно-растительным слоем, образована нагромождениями пористых базальтовых глыб, напоминающими торосы льда, но только мрачного серо-черного цвета. Нет сомнений, что возраст вулканов и лавового потока под ними очень молодой, к этому выводу пришел когда-то и сам Кропоткин, посетивший Окинское плоскогорье в 1867 году. Геологи единодушно считают, что вулканы Кропоткина и Перетолчина так же, как сходные по размерам и составу вулканчики Тунгинской долины, образовались не более чем 7—8 тысячелетий тому назад.

Мы не оговорились, назвав небольшие вулканические горы Восточного Саяна «вулканчиками». Они действительно очень малы по сравнению с настоящими вулканами. Подобные им шлаковые конусы образуются десятками по подножьям настоящих громадных вулканов.

Интересно, что читая о вулканах, мы обычно

имеем дело с итальянскими названиями, давно ставшими научными терминами. Таковы «бокка» — отверстие в теле вулкана, «лапилли» — камешки, «мофетты» — струи вулканического углекислого газа и многие другие термины. Все это крайне просто объясняется тем, что наука о вулканах — вулканология — зародилась в Италии с ее классическими образцами подобных явлений. Достаточно вспомнить Везувий и Этну. Но вернемся в сибирские края.

Вступив в пределы Красноярского края, мы найдем столь же свежие и столь же обильные следы былой, но геологически недавней вулканической деятельности на территории восточной части Тувы. Здесь выделена особая область, где базальтовые потоки и покровы так же, как в Прибайкалье, находятся и на сравнительно высоких водоразделах, и на дне горных долин, где также встречаются миниатюрные шлаковые конусы — самые молодые среди здешних вулканических форм. Толщина наложенных друг на друга лавовых потоков и покровов, как и на Окинском плоскогорье, достигает сотен метров. Центрами излияний базальтовых лав как в Восточно-Тувинской области, так и в Восточном Саяне и Хамар-Дабане служили не громадные трещины в земной коре, как это было, например, в очень древние эпохи в Индостане, на Сибирской и других древних платформах, а отдельные, хотя и связанные с повышенной раздробленностью коры, крупные щитообразные вулканы, от которых жидкая базальтовая лава растекалась по уклонам рельефа часто на большие расстояния. Отметим еще, что районы недавнего вулканизма в Восточной Туве, Восточном Саяне и Хамар-Дабане расположены в наиболее высокогорной части Восточной Сибири, где берут начало Енисей и верхние левые притоки Ангары: Иркут, Ока, Ия и Уда.

Переместимся теперь несколько на юг, в пределы Северной Монголии, и увидим, что следы молодого вулканизма в виде таких же покровов, потоков базальтовых лав и отдельных небольших вулканов разбросаны и здесь, в районе озера Хубсугул, южных склонов Хамар-Дабана и в нагорье Хангай, так что если взглянуть на геологическую карту, будет ясно, что перед нами единственная вулканическая область, в рамках которой расплавленное вещество выступало из низов земной коры и верхов верхней мантии под

влиянием каких-то общих причин. Но и этого, оказывается, мало. В верховьях р. Витима, в ближнем Забайкалье, мы увидим на карте большое поле, занятое покровами базальтов с насаженными на них многочисленными (более 20) отдельными шлаковыми конусами. Четыре из них названы вулканами Мушкетова, Лопатина, Обручева, Домбровского. Это так называемое Витимское плоскогорье, поверхность которого выровнена горизонтально наложенными потоками лав. Наконец, на севере Читинской области есть еще одно вулканическое поле, расположенное на высотах хребта Удокан. Этот вулканический район изучен так же подробно, как и предыдущие. Платообразные части хребта здесь заняты горизонтально наложенными потоками базальтов, среди которых, в отличие от предыдущих районов, встречаются более кислые и более щелочные породы — андезитобазальты, трахибазальты и трахиты. Последние слагают отдельные небольшие вулканы и вулканические купола. Таким образом, наша вулканическая область продолжается еще на некоторое расстояние к северо-востоку, заканчиваясь в районе хребта Удокан и верховьев р. Чары.

Выше мы упоминали о каких-то общих причинах, повлиявших на объединение следов (а в прошлом — самих явлений) молодого вулканизма на юге Восточной Сибири и на севере Монголии в границах единой области, но вместе с тем и на их рассредоточенность, рассеянность по той же территории. В чем тут дело? Прежде всего, вспомним, что следы недавнего молодого вулканизма — это памятники геологической истории, ее вещественные документы. Есть места, и их немало в рассматриваемой вулканической области, где базальтовые лавы и их туфы залегают среди слоев осадочных пород или служат их основанием или покрывкой. По этим соотношениям, зная возраст осадочных пород по остаткам в них флоры и фауны, мы можем близко подойти к определению возраста самих вулканических пород. Да и сами они могут быть довольно надежно датированы радиологическими методами или методами палеомагнитных измерений, которыми уже давно пользуются геологи. Такие исследования выполнены в большом числе пунктов, где обнажены молодые вулканические породы, и теперь мы хорошо знаем их «биографию». Оказалось, что вулканизм в Монголо-Сибирской вулканической области растянулся, по

крайней мере, на 20—25 млн. лет, но в разных частях Сибири и Монголии начинался в разное время. Самые древние излияния базальтов происходили в олигоцене на территории МНР и, вероятно, в районе нынешней Тункинской долины. Шире распространились, но все же ограничивались южными районами излияния базальтовых лав в миоцене, они захватили южную часть Восточного Саяна. В плиоцене вулканизм был очень мощным и захватил все районы вулканической области. Именно в плиоцене извержения происходили в большом масштабе на обоих флангах вулканической области — в Восточной Туве и в районе хребта Удокан. Довольно бурные извержения протекали в антропогенном периоде, но к концу его стали ослабевать. В послеледниковое время, то есть за последние 8—10 тысячелетий, сформировались лишь небольшие лавовые потоки и многочисленные шлаковые конусы — «одиночки». Таким образом, мы имеем как бы полный вулканический цикл с миграцией излияний базальтовых лав с юга на север и от центра области (примерно от 105-го меридиана) к западу и востоку. Первобытный человек, несомненно, был свидетелем «постройки» шлаковых конусов. Он оставил, к примеру, часть своих орудий близ склонов тункинских вулканчиков.

Особенность базальтового вулканизма заключается в однообразии состава базальтов на всей территории их распространения. Лишь в Удоканском районе часть вулканитов отклоняется от типичных оливиновых базальтов в сторону несколько более кислых андезитобазальтов (до трахитов). О чем это говорит? О том, что условия проникновения основной магмы через земную кору были благоприятными. Первичные расплавы достигали земной поверхности, не задерживаясь надолго в промежуточных «станциях» — магматических камерах. В противном случае они неизбежно дифференцировались, и на поверхность в разное время и в разных местах доставлялись бы различные магматические продукты. Значит, в течение олигоцена — антропогена земная кора была здесь хорошо проницаема, как бы расслаблена, в ней преобладало растяжение, а не сжатие. Это очень важный вывод.

Во всех названных районах и многих отдельных пунктах в базальтах содержатся включения ультраосновных пород, близких к перидотиту, какими должна быть сложена верхняя мантия. Ученые единоглас-

но считают эти включения обломками мантийного вещества, захваченными базальтовой магмой при ее выплавлении из перидотита. Это другой важнейший факт. Он говорит о том, что базальты выплавлялись на больших глубинах в верхней мантии и должны были проходить земную кору насквозь. Наибольшие глубины очагов расплавления в мантии для базальтов Монголо-Сибирской вулканической области оцениваются (например, для наиболее молодых базальтов нагорья Хангай) в 80 км. Этот факт подтверждает высокую «пропускную способность» земной коры для магмы в течение позднего кайнозоя.

Таким образом, кайнозойский вулканизм в Монголо-Сибирской горной системе убывал во времени и завершился в последние тысячелетия образованием шлаковых вулканчиков. Можно ли считать на этом основании, что с вулканизмом в этих краях покончено навсегда? Или надолго? И что термальные источники, которыми так богата вся эта страна и которые, несомненно, являются отзвуком былых вулканических извержений, будут постепенно иссякать и исчезать? На такие вопросы нельзя дать определенного ответа. Но, как мы увидим в конце книжки, земная кора в Прибайкалье продолжает в наше время жить интенсивной жизнью и пробуждение вулканизма в этой стране принципиально не исключено.

ЗЕМНАЯ КОРА И ЖИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ

Главнейший фактор — это существование биосферы в течение всех геологических периодов с самых древних их проявлений, с архейской эры.

В. И. Вернадский

Вспомним геохронологическую таблицу — схему последовательности главных подразделений в геологической истории Земли (гл. I). Мы уже обращали внимание читателей на очень неравномерную «детальность» этой таблицы: чем дальше в глубь времен, тем подразделения геологического времени становятся все более продолжительными, да и сами их границы (рубежи) не повсюду на Земле достаточно четки. Ос-

тается много спорного. Естественно напрашивается аналогия с историей человечества. Ранние ее этапы известны нам только лишь в самых основных чертах, но зато археологи не перестают удивлять и радовать нас новыми открытиями. Так, совсем недавно наука осветила многие стороны ранее неизвестной истории Египта до создания пирамид. Познание древних и древнейших этапов истории Земли дается с большим трудом, но все же и оно неуклонно движется вперед.

Известно, что основа подразделений геологической истории — это развитие жизни на Земле, протекавшее последовательно, направленно, но отнюдь не равномерно. Расцвет одних групп животных и растений сменялся их упадком, вырождением вплоть до полного вымирания. На смену одним группам приходили другие. Некоторые морские животные столь хорошо приспособились к окружающей среде, что переносили ее изменения без вреда для себя в течение многих геологических периодов. Таковы, например, акулы и отдельные морские моллюски, живущие на земле по существу без всяких изменений в течение почти полумиллиарда лет. Но для биостратиграфии, то есть разделения осадочной оболочки Земли (стратисферы) на слои и группы слоев по их относительному возрасту, важны другие организмы — те из них, которые приспособились к новым условиям и размножались в огромном количестве, распространяясь по всему земному шару и становясь, таким образом, «космополитами», а затем быстро вымирали. Геологи-стратиграфы называют такие организмы руководящими формами, они и впрямь как бы руководят их работой, позволяя сопоставлять такие остатки и заключающие их слои на больших и очень больших межматериковых расстояниях. Все это читателям в общих чертах известно. Здесь важно проследить не историю жизни на Земле, это задача особая, ею занимаются историческая геология и биологические науки, а представить себе, как, в каком объеме и даже на какую глубину жизнь на Земле отразилась в строении и составе земной коры.

В наше время в научное мировоззрение глубоко внедрилось понятие о биосфере — оболочке жизни на Земле. Название это было введено еще в прошлом веке геологом Э. Зюссом. Название прижилось, а обозначаемое им понятие развилось и обогатилось трудами многих ученых, особенно трудами великого русского уче-

ного В. И. Вернадского. Сейчас понятие о биосфере стало общедоступным.

Еще не очень давно в шкале геологической хронологии вместо слова «архей», «архейская» говорили «азойская эра», то есть эра, лишенная жизни. Сейчас слово «азойский» потеряло смысл. Как ни парадоксально это казалось еще 25—30 лет тому назад и не вязалось с представлениями старой научной школы о первоначально расплавленной Земле, постепенно покрывшейся корой охлаждения, но в мире одна за другой следовали прямо-таки сенсационные находки следов живых организмов в древних и древнейших отложениях. Сейчас накоплен уже столь богатый материал по «древней органике», что никого не удивляет ни очередная подобная находка, ни данные об абсолютном возрасте ее материала, счет которого идет не на миллионы, а на миллиарды лет. Ясно, что сами мягкие ткани древних бесскелетных организмов сохраниться не могли в породах, испытавших, да еще неоднократно, погружение в недра с их высокой температурой, давлением, действием раскаленных паров и газов, наконец, испытавших еще и сильнейшие тектонические деформации. Зато остаются иногда изумительно отчетливые формы, структурный рисунок внешних покровов и внутреннего строения организмов. Так, как говорят геологи, находки органики перешагнули не только нижнюю границу фанерозоя (времени «явной» жизни), но и границу верхнего и древнего докембрия и стали не очень редкими в самом древнем докембрии — архее. Конечно, чем дальше в глубь времен, тем больше остатки ископаемых организмов (их слепки, оттиски, как бы тени) свидетельствуют о их принадлежности ко все более примитивным формам жизни. Мнение биологов о том, что древнейшими организмами на Земле были бактерии и простейшие сине-зеленые водоросли, сохраняет свою силу: именно следы скоплений этих существ находят в древнейших отложениях. На международном совещании в Копенгагене в 1981 году демонстрировались морфологически ясные остатки организмов и признаков жизнедеятельности в породах с абсолютным возрастом до 3,8 млрд. лет. Сообщены были и интереснейшие геохимические данные, в частности, в древнейших осадках найдены аминокислоты — структурные элементы сложной молекулы белков. Высказаны были предположения, что

жизнь на Земле существовала более 4 млрд. лет тому назад, еще до того, как закончилась бывшая, по мнению планетологов, бомбардировка нашей планеты метеоритами. Эти выводы кажутся фантастическими, но они научно обоснованы. А ведь это значит, что биосфера стала формироваться одновременно или почти одновременно с земной корой, хотя для своего существования и процветания она требует, как известно, довольно узких и, так сказать, скромных интервалов температуры, давления, кислородного потенциала, света, влажности и других подходящих или терпимых условий. Таким образом, предвидение В. И. Вернадского, приведенное в эпитафее и сформулированное при почти полном отсутствии прямых фактов более полувека тому назад, полностью оправдалось.

Известно, что земная кора образовалась, существует и будет впредь развиваться под совместным воздействием на ней водной оболочки, атмосферы, подстилающей мантии и биосферы, причем земная кора также воздействует на смежные оболочки. Взаимодействуя, все эти оболочки и сами менялись с течением геологического времени. И все же в развитии верхних частей нашей планеты надо различать (по крайней мере, на нынешнем уровне знаний) абиотические и биотические процессы, то есть процессы, не связанные и связанные с жизнью. Особенно высокая сложность и органических веществ, и биологических процессов, известных нам на разных уровнях организации материи, по сравнению с теми же явлениями в неорганической природе, показывает, что в какой-то степени появление на Земле биосферы запаздывало по отношению к первичной земной коре и, вероятно, водной и газовой оболочкам. Первичная земная кора, как мы знаем, имела основной состав, близкий к базальту; на современной стадии такой состав сохраняет только самая нижняя часть коры (3-й слой). Первичная атмосфера имела, как думают, углекисло-метановый состав, а воды протоокеана, выделенные парами мантии при грандиозных и массовых вулканических извержениях, имели состав, мало похожий на современный. К этому надо добавить вероятный в те отдаленнейшие времена дефицит свободного кислорода. Анаэробные существа, бактерии, известные и в наши дни, не послужили исходным звеном для более высоко организованных, также анаэробных, организмов. Их нет.

Путь развития как земной коры, так и водной, воздушной оболочек и биосферы был «кислородным». Кислород завоевал основной объем материи во внешней среде планеты. Этот факт заставляет думать, что с самого начала земного времени, более 4 млрд. лет назад, внешние оболочки Земли развивались «по кислороду» параллельно и, несомненно, за счет флюидов — летучих веществ, поступавших из мантии. И можно представить себе образование базальтовой земной коры как результат длительной выплавки материала из мантии без существенного участия внешних оболочек или даже совсем без него. Можно представить себе и первичный океан как горячий безжизненный водный раствор многих минеральных веществ, в котором нет места жизни и ее продуктам. Можно это сделать мысленно и для первоначальной атмосферы, лишенной или почти лишенной кислорода. Можно легко вообразить себе последовательную, так сказать, зависимость в образовании оболочек планеты, начиная с коры и кончая атмосферой, допустить хотя бы на самых ранних стадиях «автономный путь» их развития. Но совершенно невозможно представить себе нечто подобное для биосферы — более капризной, требовательной, неустойчиво-устойчивой, непрерывно прогрессирующей, создающей сложнейшие молекулы вещества и клетки, вооруженные средством бесконечного производства себе подобных и т. д. Как более высокая по сравнению со средой своего обитания (в земле, воде и воздухе) организация материи, биосфера не могла возникнуть «автономно» и даже одновременно со всеми этими средствами.

Все сказанное показывает, что загадка происхождения жизни на Земле, занимающая умы многих ученых в течение многих лет, отчасти близится к своему решению в самом общем виде (живая биосфера возникла в мертвой природе нашей планеты без особых проволочек), и жизнь есть вполне естественное следствие развития и преобразования планетной материи, как думал Вернадский, отчасти же загадка эта еще более осложняется самим таким выводом. Геологическое заключение о громадной продолжительности жизни на Земле, об одновременном или почти одновременном появлении биосферы и других наружных оболочек планеты ставит перед биологами, особенно перед биохимиками и биофизиками, большие сложные задачи.

Но может быть, дело обстоит несколько иначе, и мы просто не знаем вещественного «дна» былой жизни на Земле, а оно на самом деле существует, но еще не обнаружено в недрах коры в виде отложений с возрастом около 4 млрд. лет и уже полностью и наверняка безжизненных? Этому противоречат факты, приведенные хотя бы на международном совещании в Копенгагене. Да и возраст Земли как планеты, по самым новым данным, не превосходит 4,5 млрд. лет.

Приходится, следовательно, принять, что наименее автономная из всех оболочек биосфера, изначально заключенная в верхнюю часть коры, гидро- и атмосферу, и, таким образом, немыслимая без них, успела образоваться в них на самых ранних стадиях развития планеты.

Если биосфера почти так же геологически стара, как земная кора, всегда бывшая для нее физической опорой и местом накопления уже неживой, но необходимой для дальнейшего существования живой органики, то, значит, их постоянное взаимодействие должно быть четко и разнообразно зафиксировано в каменной летописи, и мы в глубокой толще земной коры, подвергавшейся в прошлом многократным поднятиям и опусканиям, должны находить «ископаемые», следы такого их взаимодействия.

Верхний слой земной коры — осадочный — должен быть во всем объеме причислен к результату взаимодействия биосферы с ее соседними оболочками не только потому, что эти оболочки сосуществовали в течение всего времени образования слоя, но еще потому, что в его вещественном составе важную роль играют особые горные породы — прямые производные деятельности биосферы. Их называют биогенными, или органогенными. Подсчитано, что осадочный слой, или стратифера, имеет объем около 1100 млн. км³, что составляет около 11% общего объема земной коры и 0,1% объема всей планеты. Немалую роль в осадочном слое играют вулканогенные породы, по существу своему не имеющие ни прямого, ни косвенного отношения к биосфере, но и при вычитании их объема из осадочного слоя объем собственно осадочных пород составил 950 млн. км³. При этом на материках сосредоточена основная масса осадков — около 75%, что может удивить на первый взгляд — ведь океаны, эти гигантские чаши на поверхности планеты, являются накопи-

телями осадков. Но оказывается, что во внутренних частях океанов накопление осадков идет крайне медленно, причем та же картина имела место и в геологическом прошлом.

Осадочные горные породы, составляющие 1-й слой, образовались и в морских, и в континентальных бассейнах прошлого, но морских отложений гораздо больше, они несут в себе признаки преобладающе мелководных окраинно-материковых условий.

Говоря о составе 1-го осадочного слоя, мы имеем в виду не рыхлые, сыпучие поверхностные образования, которые мы наблюдаем повсюду как некий плащ наносов. Это ведь только материал для будущих осадочных горных пород, тот материал, который в геологическом будущем будет многократно перемещен с места на место разными транспортными средствами, особенно текучими водами, прежде чем в благоприятных (ограждающих от дальнейшего размыва) условиях превратится наконец в уплотненные (окаменевшие, погречески — «литифицированные») слоистые отложения. Именно такими уплотненными, обычно сцементированными каким-нибудь внесенным извне минеральным материалом, нередко значительно измененным наложенными процессами, сложен 1-й слой земной коры.

Совершенно ясно, что осадочные породы — это вторичные образования, возникшие при разрушении каких-то более древних пород, и накопления материала такого разрушения в виде слоев, что обусловлено симметрией поля силы тяжести и требует максимального «распластывания» материала по близгоризонтальной поверхности. Значит, вторичен по своему образованию весь 1-й слой, весь он в какой-то степени моложе нижележащего гранитно-метаморфического слоя. В то же время отдельные серии, толщи осадочных горных пород внутри слоя очень сильно могут отличаться по геологическому возрасту — от позднедокембрийских до меловых и третичных.

Выяснено, что в составе осадочного слоя коры преобладают глины и глинистые породы — до 40%. Песчаные и карбонатные (известковистые) породы распространены примерно одинаково. На долю последних приходится до 23%. На остальные типы пород, включая вулканические, приходится единицы процентов. Значит, 1-й слой земной коры в основном глиняный. Но глины — это наиболее дисперсные обломоч-

ные породы, очень тонкозернистые и почти всегда с немалой примесью коллоидальных минеральных веществ. Чем больше коллоидов, тем «жирнее» глина. И обломочная, и гелевая часть глин — результат выветривания каких-то первичных пород, выветривания очень длительного, часто с перемывом, переотложением и многократным повторением этих явлений. И вот оказывается, что очень глубокое выветривание первичных (например, кристаллически-зернистых изверженных) пород достигается только при совместном действии физического и биохимического выветривания.

Биосфера, разнообразные продукты ее разложения, главным образом гуминовые кислоты, — мощный, если не самый мощный, фактор выветривания, господствующий, понятно, во влажных тропиках и сходящий почти на нет в высоких холодных широтах. Подавленность процессов образования глин при выветривании, кроме высоких широт и высокогорий, можно наблюдать и в пустынях. Хотя и существуют довольно значительные участки «глинистой пустыни», но это обычно днища высохших озер и больших луж. Пустынное выветривание идет преобладающе физическим путем, при слабом влиянии сильно разреженной и бедной биосферы. Не углубляясь далее в этот вопрос, отметим, что глинистые породы осадочного слоя коры в большинстве своем созданы при очень активном участии биосферы, главным образом, ее биохимических продуктов.

Известняки, присутствующие в отложениях всех эр и периодов и образующие в них мощные толщи, в большинстве случаев имеют биогенное, морское происхождение и являются как бы наиболее выразительными представителями биосфер прошлого. Образованные первоначально известковыми скелетами различных организмов, эти широко и почти повсеместно распространенные осадочные породы в научном языке различаются часто по преобладающим группам создавших их морских организмов (фузулиновые, нуммулитовые, ракушняковые, водорослевые и другие известняки). При метаморфизме и перекристаллизации известняки переходят в мраморы и кальцифиры. Те и другие распространены на Байкале в районе Слюдянки. Посмотрите на них в карьерах предприятия «Перевал».

Графитовые сланцы, графитовые гнейсы, шунгиты,

ископаемые угли (от лигнитов, еще сохраняющих структуру растительных тканей, до каменных углей и антрацитов), битуминозные породы, залежи нефти и горючих газов — все эти углеродистые соединения или подавляющая их часть являются созданием биосферы соответствующего геологического времени.

Биологическую природу имеют, наконец, многие кремнистые породы, в особенности настоящие яшмы, образовавшиеся из глубоководных радиоляриевых илов древних морей.

Таким образом, верхний осадочный слой земной коры буквально пронизан и насыщен толщами биохимического происхождения, толщами, в образовании которых биосфера принимала то или иное участие. «Породообразующее» значение биосферы проявилось, как мы видели, уже в архее, а затем, в последующие эры и периоды, неуклонно возрастало. Приблизительно в середине палеозойской эры первоначально пустынные праконтиненты стали завоевываться наземной растительностью, которая в каменноугольное время захватила своими фантастического (для нас) вида лесами огромные болотистые пространства древней суши.

Мы знаем, что максимальной толщины 1-й слой земной коры достигает на материках, а минимальной — в океанах. Но в некоторых обширных районах материков первого слоя вообще нет, и на поверхность прямо выходит 2-й слой. Это области кристаллических щитов и массивов. С ними мы уже встречались. Таковы Канадский, Бразильский щиты в Западном полушарии, Африканский, Балтийский, Индостанский — в Западном. В Восточной Сибири это Анабарский, Алданский щиты (массивы) и Шарыжалгайский выступ фундамента Сибирской платформы, о которой было рассказано выше.

Второй слой земной коры — гранитно-метаморфический — сосредоточен целиком в пределах материков. Его объем оценивается в 3000 млн. км³. Главные породы, слагающие этот слой, — различные граниты, гранито-гнейсы и глубокометаморфизованные осадочные и осадочно-вулканогенные толщи. В последние годы этот слой иногда называют просто гранитным, что подчеркивает, во-первых, обилие в нем гранитов, а во-вторых, отражает химический состав слоя, близкий к химическому составу гранодиорита. В целом состав 2-го слоя, по сравнению с составом как 1-го, так и

3-го базальтового слоя, отличается повышенным содержанием кремнезема, щелочей, редких элементов. Выходит, что средний, гранитно-метаморфический, слой «кислее» как верхнего, так и нижнего. Осадочные породы в составе 2-го слоя, как ни сильно они метаморфизованы, несомненно, образовались когда-то на поверхности планеты в древнейших водоемах и, следовательно, при том или ином участии биосферы (ее можно бы назвать протобиосферой). Мы не знаем, какова действительная количественная роль первично-осадочных пород в составе 2-го слоя коры, не знаем, какие объемы и массы осадочных пород были переплавлены или же каким-то другим, как говорят, ультраметаморфическим путем преобразованы в граниты и гнейсы. Нам важен самый факт изначального наличия во втором слое (бывшем, понятно, в глубоком докембрии первым) осадочных пород, местами и до наших времен сохранивших следы первично органического вещества.

Самый нижний, 3-й, слой земной коры, называемый, как мы знаем, базальтовым, по объему и массе значительно превосходит 2-й слой. Его средняя мощность на материках около 20 км, под океанами — около 6 км. Взятый целиком для всей земной коры базальтовый слой по объему приближается к 6000 млн. км³. В свое время этот слой, как и его граница с гранитно-метаморфическим слоем (раздел Конрада), был выделен и назван базальтовым по сейсмологическим наблюдениям — скорость распространения в нем продольных волн (6,5—7,0 км/с), по экспериментальным данным, соответствовала их скорости в базальте. Предполагается, что не базальт, а глубоко метаморфизованные, отчасти первично осадочные, отчасти основные изверженные породы — габбро, нориты и др., а также частично граниты и метаморфические толщи первично осадочного происхождения, подобные тем, что слагают 2-й слой, образуют и 3-й. А если так, то, значит, отложения, созданные в отдаленнейшие времена при очень вероятном участии биосферы, присутствуют в глубоко измененном виде и в самом нижнем «этаже» коры. И тогда придется признать, что вся земная кора континентов (к океанической базальтовой коре это не относится) создана в той или иной степени при участии биосферы. Этот вывод был сделан еще В. И. Вернадским. Он не доказан окончательно, но,

думается, это будет сделано в недалеком будущем.

Возрастание количества органического вещества в отложениях все более молодых геологических эр и периодов еще точно не установлено, но, несомненно, сама биосфера расширялась, усложнялась и обогащалась в течение всей геологической истории. Вероятно, жизнь в каких-то простых формах существовала и на древнейшей суше, но во второй половине палеозойской эры захват материков высокоорганизованными формами жизни стал массовым. Параллельно с этим нижние слои атмосферы становились обиталищем летающих существ. Уже в позднем палеозое на суше появились первые примитивные млекопитающие, но господствовали рыбы, насекомые, земноводные, на смену которым пришли рептилии, их расцвет наступил только в конце мезозоя, в юрский и меловой периоды, когда на Земле — на суше, в воде и в воздухе — возник удивительнейший мир, выдвинувший на первый план динозавров. Уже много десятилетий эти диво-ящеры устрашающего вида привлекают к себе внимание ученых, писателей-фантастов и просто людей. В конце мезозоя появились птицы и пышно развились по всей земле цветковые растения, потеснившие более древние спорозы. Затем в палеогене последовал расцвет млекопитающих, среди которых было много необычайно крупных как хищников, так и травоядных. В самом конце неогена расцвет высших млекопитающих гоминид, как бы завершился появлением на Земле человека. Начался новый период в истории земной коры, названный четвертичным, или антропогеновым, то есть породившим человека.

История жизни на Земле, обрисованная сейчас в нескольких словах, удивительно интересна сама по себе, но нам важно подчеркнуть одно: с ходом времени биосфера расширяла свои пространственные границы, структура и состав ее прогрессивно усложнялись, воздействие на смежные оболочки и, значит, на земную кору неизменно возрастало. С XX века, как это впервые заметил В. И. Вернадский, геологической силой стал человек. Мощь его влияния на природу неуклонно возрастала и в эпоху научно-технической революции неимоверно усилилась, превратившись в реальную и все растущую угрозу самой биосфере. Люди сами убедились, что их деятельность стихийно ведет к возрастающему загрязнению окружающей среды,

что погоня за комфортом и материальными благами оборачивается своей негативной стороной — оскудением Земли.

Мы еще не знаем, было ли причиной вымирания в геологическом прошлом некоторых групп животных их истребление другими, более могущественными группами животных, или же дело обстояло сложнее. Изменения климата, громадные вспышки солнечной активности, какие-то другие космические причины, наконец, возможно, регрессивные факторы, заложенные каким-то образом в самой биологической эволюции, лучше объясняют такие вымирания. Казалось бы, саблезубый тигр, или торбозавр, громадный хищный динозавр, были способны постоять за себя против любых других хищников. Но лишь только мы мысленно вступили в антропогеновый период, как новое порождение биосферы — первобытный человек, стоявший еще значительно ниже неандертальца, начал тотальную истребительную охоту на современных ему млекопитающих в эпоху позднего палеолита на мамонтов и носорогов, пещерных медведей и гигантских оленей. Трудно поверить, что ледниковый период сам «сломил», истребил этих гигантских млекопитающих. Изменения климата, вероятно, лишь осложнили жизнь этих животных, чем, так сказать, дополнительно к изобретению новых орудий истребления и воспользовался человек. И этот процесс неуклонно продолжался. В самые последние столетия не природой, не изменчивыми условиями жизни, а человеком были истреблены гигантские страусы моа в Новой Зеландии, эсперорнис на Мадагаскаре, морская корова у Командорских островов. В наши дни быстро пополняются в «Красной книге» списки животных и растений, которым грозит полное уничтожение, главным образом со стороны человека.

Угроза разрушения частностей, а то и самых основ биосферы осознана уже всем человечеством, но в капиталистическом мире на нее еще нередко смотрят как на неизбежное зло, меньшее, например, чем уменьшение текущих прибылей капиталистических монополий, тогда как в Советском Союзе и в других социалистических странах охрана природы стала государственным делом. Она закреплена как закон в Конституции СССР.

Существенное изменение местных климатических

условий (сведение лесов, создание огромных водохранилищ, нарушение речного стока), громадные изменения в рельефе и почвах, загрязнение водоемов, причем не только поверхностных, но и подземных, загрязнение воздуха, повышение радиоактивности всей наружной среды и многое, многое другое совершенно изменили соотношение биосферы с вмещающими ее оболочками и достигли за какие-нибудь 50—100 лет такой ситуации, когда биосфера в лице созданного ею человека грозит разрушением или, во всяком случае, обеднением самой себя. Но это уже другая тема, об этом много говорят, много пишут, но, к сожалению, все еще мало делают. Нам важно здесь только подчеркнуть, что и сами верхние горизонты земной коры в наше время претерпевают со стороны биосферы воздействие в тысячи, а то и в миллионы раз даже чисто количественно превосходящие то, что имело место во всей прошлой геологической истории.

Геологи не принадлежат профессионально ни к физикам, ни к лирикам, но им вовсе не чужда мечта и фантазия. Правда, современные футурологи, кажется, думают, что с помощью науки можно достаточно точно предвидеть будущее и фантазировать тут не зачем. Но выходит, что далекое будущее человечества, будущее цивилизации не поддается пониманию и футурологов. Мы — оптимисты и твердо верим в светлое человеческое будущее, а что будет в геологической перспективе с земной корой — ни предсказать, ни, пожалуй, даже вообразить пока невозможно.

Мы не раз повторяли, что летописью Земли служат камни, горные породы, но только в том случае, когда они занимают в земной коре определенное естественное положение, когда они заключены в слои (пласты) — истинные страницы этой летописи. История человечества также записана в слоях. Их называют культурными слоями, если они содержат те или иные следы деятельности человека — орудия труда, остатки материального быта, жилищ, оружие, останки самого человека. Давно известно, что археологические памятники часто бывают многослойными, и поэтому, следуя таким культурным слоям снизу вверх, можно ясно представить себе развитие древних культур во времени. Один из примеров — холм Гиссарлык в Турции, вблизи пролива Дарданеллы, в котором пятый (сверху) культурный слой соответствует знаменитому

городу древности — Трое, воспетому Гомером в «Илиаде». Настоящие культурные слои, известные в наше время археологам и содержащие остатки первых догосударственных поселений и другие признаки оседлости людей, датируются 6-м и даже 8-м тысячелетием до н. э. Ранее, как думают ученые, люди не знали оседлости. Но можно ли вообразить себе культурный слой не в индоевропейском, а в прямом геологическом смысле, относящийся к нашему времени и покрытый следующим слоем? Какой слой смог бы вместить в виде окаменелостей египетские пирамиды? Или города, пусть и в развалинах, как это получилось с Троей, подобные Лондону? Или морские слон, целиком вмещающие в себя остатки потопленных в XIX—XX вв. броненосцев или гигантских пассажирских лайнеров типа затонувших в нашем веке «Лузитании» или «Титаника»? Как представить себе все эти вещи в виде включений в культурный слой, выше которого следуют другие, более молодые слои земной коры, продолжающие ее историю? Решительно, вообразить такое невозможно без полного разрушения и размельчения таких вещей. И, напротив, можно представить себе обстановку с непрерывным образованием культурного слоя, охват «современным» слоем всего земного шара и перманентное его развитие в самом себе в течение всего времени дальнейшего существования человека на Земле. Но подобная жизнь самого верхнего, современного культурного слоя, с точки зрения геологической эволюции земной коры и планеты в целом, никак не сможет выйти за рамки продолжительности антропогена. Что потом — пусть об этом думают фантасты. Ведь не исключено, что земная биосфера (геобиосфера) сможет в какой-то мере переместиться на иные миры и создать искусственно, с помощью разума, марсобиосферу, венеробиосферу и т. д., которые сейчас же начнут взаимодействовать с корой этих небесных тел и изменять ее.

ЧТО ТАКОЕ БАЙКАЛЬСКИЙ РИФТ?

*Природа — сфинкс. И тем она верней
Своим искусом губит человека,
Что, может статься, никакой от века
Загадки нет и не было у ней.*

Ф. Тютчев

Как относиться к приведенным словам поэта? Неужели природа так проста, что на самом деле в ней все ясно и наука о природе — чистое заблуждение, искусственное создание загадок, на решение которых человечество тратило столько напрасных усилий? Было бы ошибочно думать, что Федор Иванович Тютчев не понимал, что такое наука и что раскрытие секретов природы бесполезно. Все дело в том, что сама в себе, независимо от человеческого сознания, природа не содержит, не может содержать ничего загадочного. Субъективное понятие загадочности возникает как следствие несовершенства отражения человеческим сознанием явлений природы. Преодоление этого несовершенства, стремление к нему составляют путь развития науки.

Загадки, секреты, тайны природы для пытливого человеческого сознания — мир, полный романтики и несравненной привлекательности. И в этом смысле природа не обидела Восточную Сибирь. Она создала Байкал как загадку для нас, как закономерно-необходимое явление в развитии земных недр.

Громадность и суровый нрав Байкала были загадочны для вышедших к его берегам первых землепроходцев. Эта загадочность разрешилась в их сознании убеждением, что Байкал — это море. Новые и новые открытия заставляли отказаться от признания Байкала настоящим морем. Так возникла новая загадка: что же это такое, непохожее ни на море, ни на самые большие известные тогда науке озера? Следовали новые открытия. И сразу же являлись новые загадки. Уже в послевоенное время в языке ученых появился новый термин, мало что говорящий массовому читателю, — Байкальский рифт и Байкальская рифтовая зона.

Байкал в XVII—XVIII вв. прославился как пресное море. В следующем веке он стал известен всему миру как глубочайшее на Земле совершенно пресное

озеро. В первой половине нашего века к нему пришла слава замкнутого очага биологического видообразования, в котором возникли и развились только ему одному свойственные организмы (эндемики). Во второй половине нашего века Байкал прославился как единственная в Азии, причем возникшая в самой глубине материка рифтовая структура. Такова своеобразная научная «карьер» Байкала. И что особенно замечательно — в своей последней роли, в раскрытии несуществовавшего у природы, но не дававшего покоя науке «секрета» Байкала, нашли свое естественное место и землетрясения, и вулканические постройки, и само расположение гор на юге Восточной Сибири.

Вспомним теперь еще раз об основных чертах структуры земной коры в Прибайкалье. Здесь стыкуются древняя Сибирская платформа и область столь же древней складчатости, составляющая как бы раму платформы, или, как часто говорят, ее южное складчатое обрамление. Граница между этими областями имеет довольно простой контур, с двумя «заливами» к югу — Иркутским и Алданским. Сибирская платформа обладает плоским или слабо волнистым рельефом поверхности водоразделов, но речные долины ее глубокие, с крутыми склонами. Отсюда другое, географическое, название платформы — Средне-Сибирское плато. Его южный край всюду выражен довольно резким уступом — переходом в горную область Саян, Прибайкальских гор и Станового нагорья. Общая черта всех этих гор — преобладание массивных форм над резкими, острыми, затем — параллельность главных более-менее обособленных возвышенностей (хребтов, цепей) краю Сибирской платформы и умеренные высоты, не превосходящие, как правило, 3000 м над уровнем моря. Чем дальше к югу от северного края гор, тем менее влияние этого края на направление отдельных крупных возвышенностей, но все же пологий изгиб — переход северо-западных «саянских» простираний на северо-восточные «байкальские» сохраняется в общем плане и в пределах Монголии. Поблизости от линии стыка плато-горы, местами удаляясь от него в глубь гор, а местами подходя к нему вплотную, видны отдельные пониженные участки — внутригорные (межгорные) впадины, кажущиеся на первый взгляд просто сильно расширенными отрезками речных долин. Удобные ровные места в днищах этих впадин,

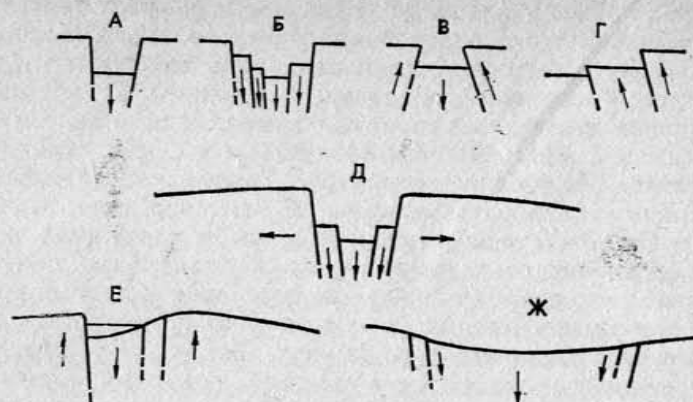


Рис. 6. СТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН.

А — простой двусторонний грабен; Б — грабен, образованный ступенчатыми сбросами; В — двусторонний грабен «рампа». Средний опущенный блок испытывает двустороннее сжатие; Г — структура параллельных сбросов и чешуй; Д — типичный рифт — грабен в замковой части пологой выпуклости (свода) земной коры. В большом грабене образовался малый (структура «рифт в рифте»); Е — грабен (рифт) в сочетании с прогибом на своде обширной выпуклости земной коры (случай Байкала); Ж — пологий прогиб, осложненный по краям сбросами. Дальнейшее усложнение структуры может быть связано с несимметричным развитием их краев, различием наклонов трещин сбросов и взбросов и величиной перемещений по ним блоков земной коры. Осадки, с неизбежностью скапливающиеся в межгорных впадинах, на рисунке не показаны.

понятно, в первую очередь привлекали к ним первых поселенцев, в них останавливались первые путешественники, окружающая их природа, прежде всего, привлекала к себе внимание. Поэтому межгорные впадины этого гористого края исторически оказались первоочередными объектами геологической науки. Одним из них, конечно, самым первым, стала впадина озера Байкал.

Первые путешественники, среди них светила тогдашней науки (их имена начертаны на карнизе Иркутского краеведческого музея), судили об этих просторных низинах среди горных высот по-разному, но уже в конце XVIII века некоторые ученые видели в них катастрофические провалы, вызванные глубинными силами, именно теми, что заявляли о себе частными местными землетрясениями. Высказывались мнения, что громадные опускания среди гор — следствие вулканических процессов. Очень многие считали, что это просто остатки огромных древних речных долин, а И. Черский полагал, что котловина Байкала — мед-

ленно углубляющаяся и сжимающаяся вогнутая складка земной коры.

В XIX в. сходные крупные межгорные понижения были хорошо изучены в Европе. В то время натуралисты разных стран о многом стали судить по европейским образцам. Было установлено, что типичная структура крупных межгорных понижений — грабен, то есть опускание продольного участка земной коры между двумя параллельными разломами-сбросами. Подобные грабены стали затем находить почти во всех горных странах, а их образцом, прототипом, оставался Рейнский грабен — опускание по сбросам между горными массивами Шварцвальд и Вогезы. С ним стали сравнивать и впадину Байкала. Этому в огромной степени содействовал авторитет крупнейшего исследователя Сибири В. А. Обручева, считавшего, что «древнее темя» Азии на всем своем пространстве разбито на отдельные блоки, частью опущенные, частью приподнятые, и на таком «структурном фоне» впадина Байкала являлась лишь крупнейшей и наиболее молодой.

Дальнейшие исследования показали, что межгорные впадины Прибайкалья и Северной Монголии образуют некоторую как бы связанную протяженными разломами земной коры единую систему, составляя своими звеньями, т. е. отдельными впадинами, подобие цепи, протянувшейся более чем на 2000 км от оз. Хубсугул в Монголии до Южной Якутии. Ранее, еще в начале XIX в., отмеченное внешнее сходство впадин подсказывало мысль о геологическом родстве всех звеньев такой цепи, о близком времени и сходном способе их образования. В начале нашего века английский геолог Дж. Грегори описал сходную, по размерам еще более грандиозную систему подобных же впадин в Восточной Африке, назвав их рифтовыми долинами. Другой английский геолог Б. Уиллис, исследуя впадину Мертвого моря в Палестине, нашел, что образующие ее краевые параллельные разломы суть не сбросы, а взбросы, или крутые надвиги, которыми стенки-грабены как бы сжимают центральную опущенную полосу. Такую структуру, в отличие от рифта, он назвал рампом. Вскоре после этого и к впадине Байкала применили модель рампа. Ранее, в самом начале нашего века, геолог Львов указал на сходство впадины Байкала с впадиной другого глубочайшего озера — Танганьики в Африке. Наконец, геолог Павловский, также отме-

чавший сходство впадин Байкала и Восточной Африки, предложил для всех звеньев Прибайкальской системы межгорных опусканий удачное общее название «впадины байкальского типа».

Очень резкий подъем геологических исследований в межгорных впадинах Прибайкалья произошел в 50-е годы в связи с поисками нефти и газа. Было пробурено несколько довольно глубоких скважин. Институт земной коры, тогда просто Институт геологии Академии наук СССР в Иркутске, вплотную занялся геологией всей этой области. Были получены важные результаты по впадине Байкала и ее ближайшим соседкам. Однако самое важное заключалось в том, что именно в это время на новой научно-технической базе были проведены обширные межнациональные исследования дна Мирового океана и была открыта Мировая рифтовая система. Это открытие явилось настоящей сенсацией и стало важнейшей вехой в развитии наук о Земле. Основу Мировой рифтовой системы составляют срединно-океанические хребты, связанные друг с другом в единую сетку, как бы опутывающую весь земной шар. Срединно-океанические хребты тяготеют к срединным (медианным) частям океанов, но такое срединное положение занимают не все они: лучше всего оно видно в Атлантическом подводном хребте, особенно в северной его части. Сами по себе эти возвышения океанического дна мало напоминают настоящие хребты, какие мы видим на суше. Это поднятия с шириной основания в сотни до полутора тысяч километров и относительной высотой до 3 км. Общая длина системы таких хребтов превышает 70 000 км, а площадь равняется площади всех материков. Резкие формы рельефа обнаружены только в вершинных, гребневых частях хребтов. Они созданы, во-первых, ступенчатостью склонов, во-вторых, наличием глубоких и узких осевых впадин сбросового происхождения — рифтовых «долин». Будучи поднятиями тонкой (7—10 км) океанической коры, подводные хребты отличаются высокими значениями теплового потока (до 3—10 мккал/см²/с), сильным вулканизмом с излияниями базальтовых лав, сильной сейсмичностью, присутствием обломков ультраосновных пород, свидетельствующих о близком залегании к поверхности дна мантийного вещества. Открытие и дальнейшее изучение Мировой рифтовой системы послужило толчком

к созданию гипотезы спрединга (расширения, разрастания океанического дна симметрично в обе стороны от срединных хребтов), а также гипотезы громадных — на тысячи километров в течение геологической истории — горизонтальных перемещений литосферных плит.

Одной из своих ветвей Мировая рифтовая система выходит из Индийского океана на сушу, где и продолжается в виде, во-первых, громадной рифтовой структуры Красного моря, во-вторых, в виде Восточно-Африканской зоны континентальных рифтовых впадин. Что касается Рейнского грабена и грабенов Байкальской зоны, то они по ряду признаков оказались очень близкими к океаническим рифтовым ущельям, хотя прямой пространственной связи с Мировой рифтовой системой не имеют. Понятно, что при своей «сухоспутности», доступности для всесторонних исследований, возможности непосредственного, визуального знакомства и уже довольно высокой геологической изученности Рейнская, Байкальская и давно состоявшая кандидатом в аналогичные структуры земной коры Провинция Хребтов и Бассейнов на Западе США стали предметом специального изучения по Международной программе.

В 1966 г. в Иркутске, в стенах Института земной коры, состоялась выездная сессия Научного совета по изучению земной коры и верхней мантии АН СССР под председательством В. В. Белоусова. Были подведены итоги сделанного по впадине Байкала и соседним сходным с ней структурам. Составлена программа дальнейших исследований. Организована Байкальская секция названного Научного совета. Изучение Байкала как явления природы, обусловленного глубинными процессами, вступило в новую стадию.

Если теперь впадины байкальского типа превратились в «рифтовые долины» или просто в рифтовые впадины, то встал вопрос об их отношении к Мировой рифтовой системе. Байкальская рифтовая зона казалась совершенно изолированной, как бы «заброшенной» в глубь материка Азии, да еще и разместились она на территории, сложенной древними и отчасти древнейшими толщами горных пород. Пора было перейти к изучению возможными средствами и приемами глубоких недр под всей рифтовой зоной. В эту работу включился Институт геологии и геофизики Си-

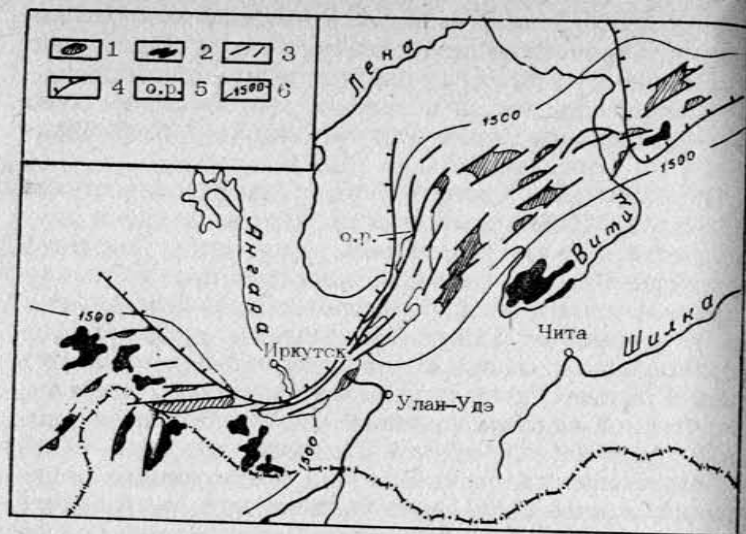


Рис. 7. БАЙКАЛЬСКИЙ РИФТ (схема).

1 — рифтовые впадины; 2 — площади, покрытые молодыми лавами; 3 — разломы земной коры; 4 — южная граница Сибирской платформы и северный край прибайкальских гор; 5 — Обручевский разлом — самый мощный, глубокий и активный в рифтовой зоне; 6 — изогипса 1500 м над уровнем моря. По Н. А. Логачеву (упрощенно).

бирского отделения Академии наук в Новосибирске, другие институты Иркутского научного центра, многие сибирские производственные организации. На первый план выдвигались, естественно, геофизические работы. О них мы подробнее скажем ниже.

На рис. 7 изображена общая схема Байкальской рифтовой зоны. На ней показаны контуры рифтовых впадин, поля распространения неоген-четвертичных вулканических пород и основные, выраженные в рельефе разломы земной коры, а также контур Саяно-Байкальского сводового поднятия (нагорья) в пределах изогипсы (линии равных высот) 1500 м над уровнем моря. Все это главные характеристики рифтовой зоны. На схеме видно, что рифтовая зона в южной части вплотную прилегает к северной границе Монголо-Сибирских гор и тем самым к южной границе Сибирской платформы, а на северо-востоке отступает от этой границы к югу. Вулканические поля тяготеют к флангам рифтовой зоны, но Витимское лавовое плато смещено к востоку от нее. Байкал — главное цент-

ральное звено рифтовой зоны — связан с особенно мощными разломами земной коры. Очень многие разломы на всем пространстве зоны — результат растрескивания земной коры, происходившего в неогене и четвертичном периоде, вплоть до наших дней. Почти все впадины и Байкал, конечно, тоже более или менее асимметричны, северные и северо-западные борта у них короче и круче южных и юго-восточных.

Все рифтовые впадины выполнены до той или иной глубины толщами осадков речного и озерно-болотного происхождения. Подобные осадки продолжают накапливаться в них и теперь. Лучше всего осадочные толщи изучены по южному краю котловины Байкала и в соседней с ней к западу Тункинской впадине, что связано с поисками нефти и глубоким бурением в этих районах. Выяснено, что накопление наземных и водных осадков (а следовательно, и зарождение рифтовых впадин) началось еще в верхнем, может быть, и среднем палеогене и продолжалось в течение всего неогена и четвертичного периода, т. е. более 25 млн. лет. Как это обычно бывает в материковых (а не морских) условиях, накопление осадков происходило неравномерно, по мере «роста», то есть углубления и расширения рифтовых впадин. На западном фланге рифтовой зоны накопление осадков сопровождалось неоднократными излияниями базальтовых лав и выбросами пирокластов, то есть обломочных вулканических материалов. О составе и строении таких мощных линз осадков можно судить по рис. 5. Местами как по краям, так и в средних частях рифтовых впадин осадки затронуты разломами, смяты в небольшие складки.

Много интересных данных по накоплению осадков в современном глубоководном Байкале получено в последние десятилетия. Они подтвердили его «молодость» и показали, что механизм накопления осадков в нем сходен с морским. Кстати, несколько слов о глубинах и рельефе дна Байкала.

Громадная глубина Байкала была известна, конечно, еще первым насельникам Байкала — бурятам, эвенкам, курыканам и, может быть, более древним народам, освоившим здесь рыболовство. Промеры с помощью простого морского лота были проведены в прошлом веке, более точные — экспедицией Дриженко в начале нашего века. Работами Байкальской лимнологической станции Академии наук наибольшая

глубина Байкала была показана недалеко к востоку от острова Ольхон. Она равнялась 1740 м. Однако позже, уже в 60-е годы, Лимнологическим институтом были предприняты специальные исследования озера с помощью эхолота и составлена первая карта рельефа дна Байкала. Максимальная, найденная примерно в том же районе глубина Байкала оказалась равной 1620 м. Она и принята в настоящее время как наиболее достоверная. И несмотря, так сказать, на некоторую «потерю очков», Байкал остается среди пресноводных озер чемпионом мира по своей глубине.

Карта донного рельефа озера в целом подтвердила предположения о том, что Байкал состоит из трех ясно обособленных котловин, что самая глубокая из них средняя, что северо-западный подводный склон очень крут и ступенчат, что юго-восточный борт более длинный и пологий, но имеет очень сложный рельеф, что глубочайшие части Байкала представляют собой как бы подводные равнины, что к северо-востоку от северной оконечности острова Ольхон по направлению примерно к Ушканьим островам протягивается подводная возвышенность, названная Академическим хребтом, что, наконец, подводные склоны местами бороздят, как в океане, глубокие каньоны. Тем не менее работы по изучению озерного дна продолжались. Новые и новые промеры по эхолотным профилям позволили В. И. Галкину создать скульптурную гипсовую модель впадины Байкала. Наконец, объединенными силами Лимнологического института и Института океанологии Академии наук были проведены еще более точные исследования котловины Байкала, выполненные путем прецизионного (высокоточного) эхолотирования, подводного фотографирования и даже непосредственных наблюдений с подводных аппаратов «Пайсис». Они полностью подтвердили основные результаты ранних подводных работ, но значительно их детализировали. И что замечательно, в схеме, в идее нынешняя структура впадины Байкала оказалась именно такой, какой геологи в 50-е годы представляли и изображали ее почти интуитивно. Ширина западного склона впадины оказалась всего 3—5 км, с крутыми или отвесными обрывами и очень узкими площадками отдельных ступеней. Напротив, ширина восточного склона много больше (25—30 км), он очень неровен, разбит на многочисленные блоки и продольными, и

поперечными разломами. Выяснилось, что озерные осадки, в том числе самые молодые, затронуты разломами, что особенно хорошо было видно у подошвы западного склона, то есть в сфере влияния основного Обручевского разлома. Еще раз подтвердилось, что впадина Байкала — резко несимметричная рифтовая структура, продолжающая свое развитие.

Все, о чем говорилось до сих пор в этой главе, составляет, так сказать, внешнюю геологическую картину Байкальской рифтовой зоны и ее центрального звена — Байкальского рифта. Природа четко показала нам основные их черты. Но мы не можем этим довольствоваться, так как лишь очень поверхностно (и в прямом, и в косвенном смысле) можем судить по приведенным материалам о происхождении, о причинах и механизме образования Байкальской рифтовой зоны. А ведь эта зона — признанный образец, генотип континентальных рифтовых зон вообще. Попробуем, насколько это возможно, «углубиться» в земную кору под рифтовой зоной.

И исторически, и по существу первое слово в познании земной коры в Прибайкалье принадлежит сейсмологии. Еще в XVII веке начал накапливаться материал о здешних землетрясениях, и стало ясно, что Прибайкалье — район высокой сейсмичности. В 30-е годы в связи с поисками нефти на Байкале в Юго-Восточном Прибайкалье стали проводить сейсмическое зондирование, применяя искусственные возбудители упругих колебаний в верхних слоях земной коры (взрывные устройства). Большой размах сейсмическое зондирование для решения общих задач строения коры приобрело в 70-е годы. Оно велось совместно с новосибирскими академическими и иркутскими производственными (разведочными) кадрами ученых. Эти работы с большой достоверностью показали, что земная кора в Прибайкалье подстилается слоем с пониженными плотностью и вязкостью, толщина которого под Байкалом 30—50 км. Этот так называемый астеносферный (слабый) слой в разных районах Земли залегает на разной глубине — до 200—300 км и, таким образом, между ним и подошвой земной коры обычно располагается верхняя часть мантии с нормальными значениями плотности и вязкости, составляющая низы каменной оболочки — литосферы. Работами методом ГСЗ было показано, что в Прибайкалье

скорость в аномальном слое продольных сейсмических волн 7,6—7,8 км/с, а в подстилающей его «нормальной» верхней мантии — 8,1—8,2 км/с. Эта разница и есть главное основание для суждения о пониженной вязкости и плотности астеносферного слоя. Дальше мы увидим, что сравнительно малая глубина «слабого» слоя под Байкалом устанавливается и другими методами.

Для изучения местных землетрясений, эпицентры которых тяготеют к Байкалу и Байкальской рифтовой зоне в целом, Институт земной коры организовал целую сеть (до 20) сейсмических станций. Густая сеть станций позволила очень точно определить местоположение эпицентров местных землетрясений и составить их карту, все время пополняющуюся материалом новых и новых землетрясений. Было выяснено, что очаги, то есть места разрядки накопившейся сейсмической энергии и тем самым источники упругих волн в Прибайкалье, находятся на сравнительно малой глубине — до 15—20 км. Анализ напряжений во многих этих очагах, начиная от южного Байкала и до восточного фланга рифтовой зоны, показал примерно одинаковую картину: близгоризонтальное растяжение, направленное вкост тектонических и орографических линий и примерно параллельное последним, более или менее горизонтальное сжатие. В очагах землетрясений к западу от Байкала векторы сжатия и расширения как бы менялись местами. Такая картина, как еще раньше было известно, свойственна очагам землетрясений очень сейсмичной советской Средней Азии и всей Центральной Азии. Эти данные имеют очень большое значение для понимания современной механики земной коры в Прибайкалье. В 60—70-е годы работами Института земной коры были установлены систематические опоздания сейсмических волн, приходящих от удаленных землетрясений, к станциям Прибайкалья. Изучение этих явлений показало, что под всей Монголо-Сибирской горной системой находится громадная каплеобразная область разуплотненной и, по-видимому, перегретой мантии, верхняя граница которой под Байкалом подходит к самой подошве земной коры. При этом оказалось, что горизонтальная проекция контура «аномальной» мантии весьма близко покрывает территорию новейшего горообразования высокой, а местами — в Западной Монголии — высо-

чайшей сейсмичности (до 11 баллов), Байкальской рифтовой зоны, области распространения выходов горячих вод и следов новейшего вулканизма. Вот насколько сейсмические методы продвинули наши знания о строении недр Прибайкалья и соседних областей, вот насколько уточнилась оказавшаяся уникальной геологическая позиция впадины Байкала, а вместе с ней и самого уникального озера!

Просматривая эти строки, читатели могут подумать, что сейсмические исследования в Институте земной коры ведутся только затем, чтобы разобраться в строении недр окружающей территории и приблизиться к пониманию механизма образования Байкальской рифтовой зоны. Да, они ведутся для этой цели, но лишь попутно с основной работой — изучением сейсмичности Монголо-Сибирской горной системы как одного из важных условий, важных слагаемых природной обстановки, в которой мы живем, работаем, строим. Результаты Мондинского 1950 г., Муйского 1957 г., Среднебайкальского 1959 г. землетрясений вместе с наблюдением выраженных в рельефе следов древних, доисторических землетрясений и данными действующей сейсмической службы по Восточной Сибири и Монголии, а также с историческими сведениями о бывших здесь землетрясениях — это ценнейший материал для составления карты сейсмического районирования, работы государственного значения, выполняемой Институтом земной коры уже много лет. Такие карты, в основе которых лежит сейсмостатистический материал, оценивающие с той или иной вероятностью сейсмическую опасность отдельных территорий, составляются в разных масштабах и имеют, по соответствующему утверждению, нормативное значение. От них во многом зависит планирование размещения новых строений, типы конструкций, виды стройматериалов и размеры ассигнований. Мы видели выше, что район центрального отрезка трассы БАМа в проекте карты сейсмического районирования территории СССР в 50-е годы оценивался как вполне безопасный, а на самом деле, как показали работы ИЗК, он лежит в том районе Байкальского рифта, сейсмичность которого сейчас, на основании вполне объективных данных, оценивается в 10 баллов. В последние годы вся трасса БАМа, большая часть которой проходит в рифтовой зоне, получила более точную оценку сейсмической опасности.

Такие научные задачи, как определение глубин очагов местных землетрясений, механизмы очагов, распределение и плотность эпицентров, повторяемость землетрясений во времени — все это служит как научным целям, так и решению вполне конкретных практических задач. Сдвиг наших знаний в том и другом направлении, сделанный в последние годы, очень велик.

К землетрясениям мы еще вернемся, а сейчас скажем коротко об обычных геофизических методах и о их применении на площади Прибайкалья.

Сущность геофизических методов исследований состоит в выявлении аномалий физических полей Земли (магнитного, гравитационного, теплового и др.), то есть отклонений, наблюдаемых с помощью специальных приборов, величин значений того или иного поля от нормальных значений. Геофизические методы служат и практике поисков полезных ископаемых и помогают понять физические процессы в недрах Земли. Начнем с аномалий гравитационного поля в Прибайкалье.

Еще в самом начале нашего века во время гидрографического описания и составления для нужд судоходства лоции Байкала было обнаружено, что ширина Байкала при определении астрономическим способом и способом триангуляции получалась разной — в первом случае она была уже. Разгадка такого странного, на первый взгляд, явления была в том, что измерения астрономическими методами не зависят от направления силы тяжести, тогда как геодезические измерения прямо зависят от положения отвеса. На берегах Байкала отвес отклонялся в сторону горных склонов, сложенных плотными — около $2,7 \text{ г/см}^3$ — кристаллическими породами. Оказывал влияние и огромный объем воды в Байкале, плотность которой близка к 1. Тем самым впервые обнаружили аномалии силы тяжести на Байкале, связанные с контрастами плотностей. В 30-е годы гравиметрические работы стали проводиться уже систематически, особенно в послевоенные годы. Все они были связаны с поисками нефти на Байкале. С самого начала здесь ожидалось сложное гравитационное поле. На это как бы намекали сложный горный рельеф, огромная чаша воды Байкала, «неуемность» современных движений земной коры, следующая как из высокой сейсмичности, так и из прямых измерений методом повторного нивелирования по

одним и тем же профилям. Так, оказалось, что в настоящее время впадина Байкала продолжает опускаться относительно соседних хребтов со скоростью до 6 мм/год. Картина гравитационных аномалий была обнаружена действительно сложная, причем отрицательные аномалии силы тяжести, по общему мнению, создаются здесь не только водой, но и толщей рыхлых осадков на дне озера, плотность которой меньше средней плотности земной коры. Расчеты позволили оценить толщину кайнозойских осадков во впадине Байкала, а также глубину поверхности кристаллического фундамента, на котором они лежат. Эта глубина — до 6000 м ниже уровня моря!

Учитывая роль воды и осадков в создании отрицательных аномалий Байкала, ученые пришли к выводу, что на большой глубине под ним должны находиться породы повышенной плотности, и на этом основании было высказано предположение, что земная кора под впадиной Байкала несколько тоньше, чем под соседними хребтами, и плотные породы верхней мантии лежат, соответственно, ближе к земной поверхности. Это значит, что «недостаток» массы в верхней части коры как бы компенсируется глубинным избытком, то есть впадина приблизительно изостатически уравновешена. Земная кора как бы плавает на мантии, образуя под Байкалом некоторый пережим или, как говорят металловеды, «шейку». Это предположение было в общем подтверждено последними данными глубинного сейсмического зондирования.

В Байкальской рифтовой зоне сравнительно простым оказалось магнитное поле. На его общем, близком к нормальному фону выделена серия местных вытянутых аномалий. Источники магнитных аномалий, как показали расчеты, лежат в рифтовой зоне в значительно более тонком слое (18 км), чем под соседней Сибирской платформой (33 км). Как полагают, толщина такого слоя определяется температурой около 450°C (так называемая точка Кюри), выше которой титано-магнетит теряет свои магнитные свойства, выходит, что под рифтовой зоной изотерма 450° лежит на почти вдвое меньшей глубине, чем, скажем, во внутренней части Иркутского амфитеатра.

Очень важные данные принесло магнито-теллурическое зондирование в Прибайкалье — один из методов изучения электропроводности недр. Было показано су-

ществование в мантии под Прибайкальем слоя повышенной проводимости, верхняя граница которого под рифтовой зоной находится на глубине 40—50 км, а в соседних районах платформы на глубине около 100—120 км. Как это следует из опытов над силикатными породами (а ими сложена мантия), подобное повышение электропроводности достигается при температуре порядка 1200°C. Отсюда следует, что слой такой температуры также находится значительно выше, под рифтовой зоной. Вспомним теперь о многочисленных следах очень молодого вулканизма в Прибайкалье, описанных выше, а также о многочисленных выходах здесь горячих источников, которые все вместе прямо указывают на повышенный разогрев недр под Байкальской рифтовой зоной.

В начале книги мы уже указывали, что глубинный тепловой поток на Байкале заметно повышен. Специальными измерениями установлено, что линейно вытянутые тепловые аномалии во впадине Байкала охватывают не всю его площадь, а сосредоточены в узких линейных зонах разломов. Величина удельного теплового потока в них в два-три раза выше среднего для континентов и достигает 3 мккал/см²/с. Итак, все говорит о том, что под рифтовой зоной располагается мощный глубинный энергетический источник, обнаруженный в последнее десятилетие сейсмическими методами. Вернемся к нему еще раз.

Явление аномальной мантии на юге Восточной Сибири было обнаружено, а лучше сказать, — было заподозрено из-за систематического запаздывания во времени прихода сейсмических волн, возбуждаемых землетрясениями, к сейсмическим станциям Прибайкалья. Читатели здесь вправе спросить: что значит запаздывание сейсмических волн и разве существует их «расписание»? Да, такое расписание существует для каждого вновь возникающего землетрясения, и его нарушение означает, что на том или ином отрезке пути сейсмических колебаний их, так сказать, нормальная для данных глубин скорость изменилась в ту или иную сторону. В физической сейсмологии существует чрезвычайно важное понятие — годограф, то есть график зависимости времени прихода волн на регистрирующую станцию от расстояния до очага. Огромное количество наблюдений за скоростями сейсмических волн на различных глубинах Земли при земле-

трясениях во всем мире и знание средних скоростей в разных оболочках планеты (сами оболочки и их границы были установлены сейсмическими методами) и позволило иметь теоретическое расписание прихода сейсмических волн в ту или иную точку земной поверхности. Сам факт такого запаздывания не может не означать изменений свойств среды, по которой проходит волна, то есть указывает на аномалию среды в некотором ее объеме. Восстанавливая, например, графический ход сейсмических волн, можно таким образом приближенно представить себе форму и размеры аномальной мантии. Предполагается, что снижение скорости сейсмических волн связано с частичным плавлением вещества мантии, через которую волны проходят и, следовательно, с уменьшением его средней плотности. А если это так, то массы с пониженной плотностью должны «всплывать» вверх сквозь мантию с нормальной плотностью. Срабатывает закон Архимеда. Но сравнительно легкое (менее плотное) вещество мантии, поднимаясь вверх, не может не нести в себе большого запаса тепла, захваченного с больших глубин. Принимая все эти допущения, несколько не противоречащие физическим законам, оказалось возможным дать схему аномальной мантии под рифтовой зоной и ее окрестностями (рис. 8). В таком виде аномальная мантия подпирает под Байкалом самую подошву коры, а на юго-западе погружается на глубину 700 км и более (рис. 9).

Итак, получается, что прохождение рифтовой зоны и ее главного звена — Байкала — связано с существованием в глубочайших недрах этого района Азии мощного источника тепловой энергии. А так как начало образования рифтовой зоны совпадает с концом палеогена или началом неогена, то и начало приближения аномальной мантии к земной коре может быть датировано в этом районе примерно 25 млн. лет.

Пора подытожить приведенные в этом очерке данные и постараться представить себе, каким образом образовалась или могла образоваться Байкальская рифтовая зона, а по ее образцу и другие континентальные рифтовые зоны.

Исходным является положение о том, что в толще планеты, а именно — на границе мантии и земного ядра — происходит некая сепарация вещества по плотности (достигающей на этих глубинах, как пом-

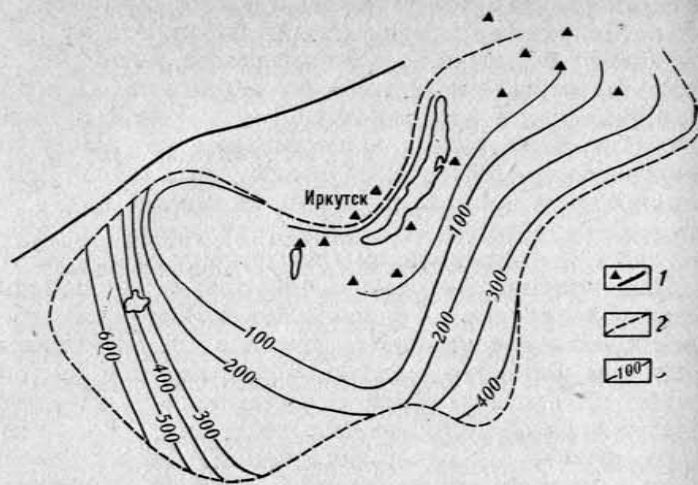


Рис. 8. СХЕМА СТРОЕНИЯ ОБЛАСТИ АНОМАЛЬНОЙ МАНТИИ ПОД МОНГОЛО-БАЙКАЛЬСКОЙ ГОРНОЙ СИСТЕМОЙ.

По В. А. Рогожиной.

1 — сейсмические станции и профиль сейсмических наблюдений; 2 — контуры области аномальной мантии; 3 — линии равных глубин (в км) верхней границы аномальной мантии.

ним, $5,9 \text{ г/см}^3$) и начинается медленный подъем менее плотных масс к поверхности планеты. С течением времени, пройдя через всю толщу мантии, то есть почти 3000 км, порции вещества пониженной плотности, состоящего из смеси тугоплавкого перидотита и расплавленного (выплавленного из перидотита) базальта, накапливаются под земной корой и приподнимают ее, вызывая тем самым начало процесса горообразования на земной поверхности. Образуется сводовое поднятие коры, размеры которого будут, очевидно, зависеть от объема скопившегося под ней глубинного вещества. Процесс поднятия и горообразования при продолжающемся подтоке под кору мантийного вещества относительно низкой плотности может продолжаться лишь до тех пор, пока не будет достигнуто изостатическое равновесие, то есть до наступления момента, когда вес сводового поднятия компенсирует выталкивающую силу. Но такое равновесие «по вертикали» еще не будет означать, что наступило полное механическое равновесие во всей системе и процесс закончен. Дело в том, что скопившееся под корой вещество аномальной мантии должно растекаться в стороны, подчиняясь

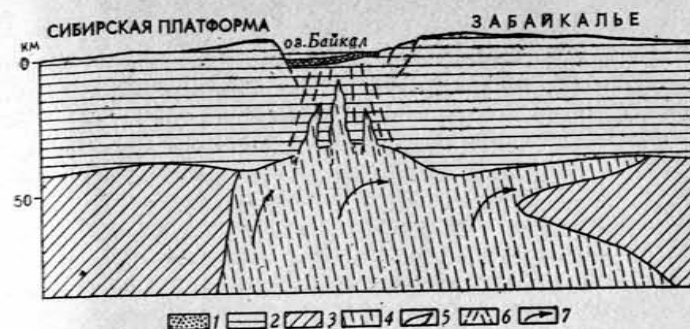


Рис. 9. ГЛУБИННЫЙ ПРОФИЛЬ ЧЕРЕЗ ОЗ. БАЙКАЛ.

1 — кайнозойские отложения; 2 — кристаллическая кора; 3 — нормальная мантия; 4 — аномальная мантия; 5 — внедренное мантийное вещество; 6 — разогретая область коры; 7 — предполагаемое направление течения вещества в аномальной мантии.

принципу стремления к минимуму гравитационной энергии. Так, например, кусок вара, положенный на горизонтальную плоскость, неизбежно будет растекаться в стороны. Растекание мантийного вещества создает за счет вязкого трения растягивающие силы в земной коре под сводовым поднятием. К растягивающим силам добавляются еще силы, направленные вдоль склонов сводового поднятия — кора, как всякое тело на наклонной плоскости, будет стремиться соскользнуть со склонов выпуклости мантии. С другой стороны, растяжение должно приводить к раскрытию трещин древних разломов в земной коре и к образованию новых разломов, а тем самым возникает возможность внедрения в трещины разломов вещества аномальной мантии, его остывания, кристаллизации и превращения в ультраосновные породы, выполняющие собой трещины. Вместе с тем, отдавая тепло окружающей среде, мантийное вещество будет нагревать кору в ограниченном объеме, прилегающем к разлому. В свою очередь, в разогретом объеме коры уменьшится вязкость вещества и увеличится его способность к растяжению. Если весь этот процесс пойдет широким фронтом (в коре откроются многочисленные трещины разломов, и в них внедрятся многочисленные мантийные тела), то в целом земная кора будет растягиваться над выступом мантии, следовательно, и утоняться. Поверхность Земли над таким выступом представит собой рифтовую впадину со всеми ее ат-

рибутами. Изложенная гипотеза (ее главный автор — профессор Ю. А. Зорин), как видим, представляет собой интерпретацию установленных фактов в рамках общей идеи. В нее вписываются и ее обосновывают и геологические данные (широкое развитие разломов — в первую очередь), и данные о наружном рельефе рифтовой зоны, и данные сейсмичности, особенно вывод о преобладании поперечных к структурам рифтовой зоны сил растяжений в очагах землетрясений, и данные о запаздывании сейсмических волн под земной корой, наблюдения над геофизическими полями, словом, весь современный научный материал по Байкальской рифтовой зоне. На рис. 7 схема строения Байкальского рифта изображена графически. В принципе она пригодна для объяснения происхождения и других континентальных рифтов.

Итак, предполагается, что растягивающие силы действуют во всем сводовом поднятии, но они деформируют земную кору там, где она особенно сильно ослаблена трещинами, разогрета внедрениями вещества мантии. После охлаждения коры ее пластическое, то есть без разломов, растяжение может смениться образованием в тонкой части коры нового разлома, и тогда весь процесс повторится. Длительное (миллионы лет) образование рифтовой впадины, вероятно, и заключается в чередовании фаз возникновения открытых трещин и фаз растяжения без разрывов после внедрения в трещины мантийного расплава. Все это, конечно, протекает непросто и хотя бы потому, что в верхней, менее прогретой и, значит, более хрупкой части коры растяжение должно осложняться образованием новых разломов, не идущих на глубину и затухающих в области более разогретой и пластически деформируемой коры. Значит, такие разломы (в отличие от других — глубинных и сверхглубинных, разделяющих, например, целые литосферные блоки, или плиты) будут «работать» только в верхней части коры. И действительно, очаги землетрясений в Байкальской и других рифтовых зонах, несомненно, связанные с коровыми разломами, лежат преимущественно на небольших глубинах — до 15—20 км.

Остается еще один вопрос. Сводовое поднятие и рифтовая впадина на нем — в известном смысле противоположные явления, действующие как бы навстречу друг другу. А ведь расплывание мантийного ве-

щества в стороны под сводовым поднятием должно вести к его снижению, а затем и к уничтожению. На самом же деле рифтовые впадины и на суше, и в океане почти неизменно связаны с обширными сводовыми поднятиями. Таков и Байкальский рифт. Современные геофизические измерения показывают, что хребты вокруг рифта продолжают подниматься, а впадины опускаться. Как это объяснить с точки зрения механизма рифтообразования в том виде, в каком он изложен нами? Очевидно, все дело здесь в постоянном притоке под земную кору вещества аномальной мантии и восстановлении таким образом высоты сводового поднятия.

Что же, можно ли теперь сказать, что загадка Байкальского рифта, а с ним и загадка образования других рифтовых зон Земли, имеющих столь много общих черт, успешно и до конца решена? Конечно, этого сказать нельзя, что, однако, никоим образом не должно разочаровывать нас. В самом деле, из обобщения геологических и геофизических обширных и разнообразных материалов может следовать нарисованная модель Байкальского рифта. При ее построении были использованы преимущественно физические данные, а процесс образования сводового поднятия и рифтовой впадины на его вершине рисовался только как механические деформации. Но в земной коре и верхней мантии происходят сложные физико-химические процессы, существо и результаты которых не могут считаться полностью изученными. Ведь речь идет о пока недоступных и непрозрачных недрах планеты, и как ни разнообразны и ни изощрены косвенные методы их познания, многие трудности еще далеко не преодолены.

Байкальская рифтовая зона остается еще во многом нерешенной загадкой, и если, по Тютчеву, она на самом деле очень проста, то природа продолжает скрывать эту ее простоту за сложными ограждениями. А искушение, о котором писал Тютчев, это и есть стремление познать самую простоту, хотя бы поневоле сложными и трудными путями.

ИЗ ПОСЛЕДНИХ СТРАНИЦ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛЕТОПИСИ

Еще одно, последнее сказанье.

А. Пушкин

Мы совершили путешествие в глубь земных недр и в глубь их геологической истории. Читатели не могли не заметить, что во время путешествия мы оставались то на общих вопросах строения и развития земной коры в масштабе всей планеты, то задерживались на особенностях земных глубин во Внутренней Азии, а порой касались и отдельных эпизодов исследований коры в рамках академического института, носящего ее имя. О таком порядке разговора мы условились с самого начала.

Последние страницы геологической летописи дают нам представление о том, как сложился современный строй и облик земной коры. В геологической «современности» (будем понимать под ней новейшую, писаную историю человечества) мы наблюдаем не конечный, а текущий итог развития коры и ее поверхности, видим, как протекают геологические процессы на наших глазах, к каким, хотя бы кратковременным результатам они приводят. Это дает нам возможность заглянуть в какой-то мере и в геологическое будущее. Но не все просто и допустимо в таком подходе. Когда в прошлом веке наука отказалась от объяснения истории Земли с позиций катастрофизма, то есть допущения катастроф, сметавших на лике земном все ранее созданное при очередном акте творения, и все являлось в новом готовом виде, на смену этим представлениям пришло убеждение о постоянных, в общем, крайне медленных изменениях в истории природы, то есть восторжествовала теория постепенной эволюции. К геологическим процессам эти взгляды применил и широко обосновал английский геолог Ч. Лайель. Отсюда следовало, что мы наблюдаем вокруг себя накопившиеся за геологическую историю результаты тех же процессов, что продолжают и на наших глазах. Появился метод актуализма, гласящий: «Настоящее есть ключ к пониманию прошлого». Долгое время геология безоговорочно следовала этому методу и действительно достигла огромного успеха. Тем не менее

новые факты заставили пересмотреть такой слишком прямолинейный и упрощенный взгляд на законы развития природы. И было показано, что если фундаментальные законы физики, механики, химии, астрономии остаются неизменными, то в отношении хода природных процессов полностью уподоблять настоящее прошлому никак нельзя. Возьмем лишь один пример. Первичная атмосфера Земли имела, как мы знаем, метано-углекислый состав, а по химизму вод первичный океан также, несомненно, отличался от нынешнего. Ясно, что экзогенные процессы и явления протекали тогда не по-современному. Жизнь в докембрии существовала в простейших формах, и ее воздействие на «мертвую» природу и качественно, и количественно отличалась от того, что было затем в фанерозое и особенно в антропогене, когда громадной геологической силой стала человеческая деятельность. Из этих и других примеров следует, что механический перенос наблюдаемых нами явлений на геологическое прошлое может привести к большим ошибкам, что необходимо находить и вводить в изучение прошлого соответствующие поправки, помня при этом, что если настоящее все же в какой-то мере — ключ к пониманию прошлого, то и прошлое — ключ к пониманию настоящего.

Из сказанного ясно, что сравнения и аналогии явлений геологического прошлого и настоящего более допустимы по отношению к последним периодам и эпохам в истории Земли и менее допустимы в приложении к глубокой древности, в особенности к раннему докембрию или архею.

В отношении достоверности наших знаний о прошлом земной коры в течение кайнозойской эры, то есть последних 65—70 млн. лет, мы оказываемся, таким образом, в довольно сносном положении. Что касается опытного поля наших рассуждений, то есть Южной Сибири и Северной Монголии, то для прочтения последних страниц геологической летописи условия здесь сравнительно благоприятные. Главные трудности в том, что многие страницы были потеряны в самом ходе геологической истории. Так, из главы «палеоген» осталось очень мало по северу нашего опытного поля, а из главы «неоген» таких страниц сохранилось сравнительно мало по южной части. Другая трудность в том, что кайнозойская история всей северной окраи-

ны Центральной Азии протекала на суше, в глубоком континенте. Геологические документы этого времени создавались и хранились в неустойчивой воздушно-водной среде. Такая «континентальная» среда, в отличие от среды морской, вообще не способствует ни четкой записи исторических событий, ни надежной их сохранности в ископаемом виде.

Обратимся теперь к самой истории.

Наследием закончившейся мезозойской эры в нашем случае и на нашем «полигоне» явился континент, о размерах и форме которого судить трудно. Мы знаем лишь, что морские бассейны поздне мелового времени подступали к нему с северо-востока, из территории современной Якутии, и с юго-востока, со стороны Китая. В своих главнейших чертах структура земной коры уже в то время мало отличалась от современной. На севере находилась огромная плоская Сибирская платформа, с юга ее огибал мощный складчатый пояс, сформированный в течение позднего докембрия (рифей) и кембросилура, к которому с юга — в пределах Монголии и с юго-востока в Восточном Забайкалье примыкал более молодой пояс, называемый герцинским и составленный морскими геосинклинальными отложениями среднего, частью позднего палеозоя, также складчатыми, местами сильно метаморфизованными и пронизанными глубинными изверженными породами. Между этими двумя поясами, как бы налегающая на тот и другой, протягивался еще один «пояс», но другой геологической природы — целая серия параллельных глубинных разломов с очень сложным устройством земной коры, с высоким насыщением границами, со сложной и разнообразной минерализацией, которой Восточное Забайкалье (уже со времени Петра I ставшее одним из главных горнорудных районов России) обязано своими месторождениями золота, цветных и редких металлов, цветных камней и других полезных ископаемых.

Поздний мел оставил на континенте следы обширных котловин с холмистыми пространствами между ними. В котловинах были захоронены озерные и речные отложения, а в них — остатки разнообразной наземной фауны. Среди таких остатков на юге Монголии особенно известны кости, скорлупа яиц, местами целые скелеты и образуемые ими естественные «кладбища» динозавров, этих удивительных рептилий, о

которых мы уже упоминали выше. Крупнейшее скопление остатков динозавров, обнаруженное еще в далеком прошлом местными кочевниками на юге Монголии и названное ими «могилой дракона», известно во всем мире и в настоящее время хорошо изучено. В науке о развитии жизни на Земле динозавровая фауна привлекает особое внимание. Дело в том, что достигнув, казалось, изумительного совершенства и разнообразия, завоевав сушу, воды и воздух, обзаведясь громадными когтями, крыльями, плавниками, расселившись по всей Земле, динозавры геологически почти мгновенно исчезли с ее лица на границе позднего мела и раннего палеогена. Высказано много предположений и догадок о причинах необыкновенно быстрого вымирания динозавров, но ни одно из них не является общепризнанным. Удивительно и то, что другие рептилии (черепахи, крокодилы и др.) благополучно пережили тот же самый рубеж времени и процветают, хотя и в других формах, в наши дни.

Установлено, что на границе верхнего мела и палеогена в Монголии произошли некоторые, но, в общем, не очень существенные изменения природной среды. Климат мелового периода был более влажным и, возможно, теплым, нежели климат палеогена.

Отложения палеогенового возраста широко распространены в южной половине Монголии, где они, судя по геологическим данным, покрыли с течением времени поздне меловую поверхность почти сплошным плащом красноцветных осадков непостоянной мощности. Наблюдения показали, что материал этих осадков — частицы глины, песчинки, пылинки, щебень, дрова и прочее, поступал при разрушении соседних возвышенностей, которые в конце концов и сами полностью или частично погребались под их покровом. На юге Монголии красноцветными или пестроцветными осадками представлены все отделы палеогена — палеоцен, эоцен и олигоцен. На севере столь спокойного и широкого по площади накопления осадков палеогена не происходило. Они накапливались в сравнительно небольших понижениях, были маломощны. Существует предположение, что ранние палеогеновые осадки накапливались в сравнительно ограниченном участке, там, где находится современная дельта реки Селенги. Сказанное и другие показатели, на которых мы не будем задерживаться, говорят о том, что рассматрива-

емая территория в палеогене (но в доолигоценное время) разделялась на северную область с неравномерным накоплением осадков и, следовательно, с довольно выразительным рельефом, состоящим из невысоких гор, плато и углублений между ними, и южную (Южно-Монгольскую) область, где на фоне стачивания и выравнивания холмистого и мелкогорного рельефа постепенно образовался почти сплошной чехол красноцветных отложений. Общий наклон земной поверхности был с севера на юг, то есть в сторону современной «Высокой Азии», и, выходит, в целом был обратным современному. Что же из этого следует для главной темы нашего разговора? Следует вывод, что земная кора была в то время довольно «спокойна». В ней, конечно, возникали напряжения, но они были слабыми и разрешались небольшими поднятиями и, как правило, небольшими опусканиями обширных площадей. Образно говоря, «дыхание» Земли было ровным. Тем явственнее было воздействие на земную кору гидросферы и биосферы, что в условиях влажного и теплого климата привело к накоплению на больших площадях кор выветривания, то есть продуктов глубокого поверхностного разложения коренных горных пород, сохранившихся на месте своего образования. Такие коры в последующие эпохи сыграли немалую роль в обогащении золотом и другими ценными минералами россыпных месторождений.

В конце палеогена, в олигоцене, в нашей стране наметились явные свиги: накопление осадков во многих местах вообще прервалось, в других — возобновилось после перерыва и продолжалось другим темпом, изменилась окраска осадков (важный признак изменившихся физико-географических условий), но, главное, в отдельных частях страны стали происходить вулканические извержения. Изливались базальтовые лавы, о которых мы уже рассказывали выше. Эти явления имели место и в Монголии, и в Прибайкалье, свидетельствуя о начавшемся пробуждении тепловых глубинных процессов. С олигоцена начинается особый этап развития коры не только здесь, но и повсюду в Евразии. Его принято называть новейшим, или неоген-четвертичным.

Основные черты этого этапа — увеличение темпа тектонических движений, поднятий и опусканий и, соответственно, образования обширных возвышеннос-

тей и крупных депрессий между ними, а также учащающиеся во времени и увеличивающиеся по объему излившейся базальтовой лавы «всплески» вулканизма. Среди депрессий уже в начале новейшего этапа выделяются своими размерами прообразы Долины Озер и Котловины Больших Озер в Монголии и обширный прогиб на месте Южно-Байкальской и Тункинской впадин. В Южном Байкале в это время уже существовал глубокий прогиб, заложенный, возможно, еще в эоцене. Именно этому прогибу, над которым в настоящее время находится дельта реки Селенги (его называют Усть-Селенгинской впадиной), было суждено сыграть особую роль в развитии земной коры всей Азии, о чем речь пойдет ниже.

Около 20 млн. лет относительно спокойно, уравновешенно, но в то же время довольно активно развивается рельеф Южной Сибири и Монголии. На месте широкого и плоского Пра-Байкальского прогиба идет накопление разнообразных речных, озерных, болотных, склоновых и других наземных осадков — преимущественно глин, песков, а также (местами) более грубозернистых осадков и органических накоплений растительного происхождения (диатомовые илы, торфяники). Естественные выходы пород этой серии имеются на берегах Байкала в районе с. Танхой. Отсюда принятое название серии — танхойская. Ее общая мощность — до 2,5 тыс. м. Изучая ее разрез, мы довольно легко можем восстановить физико-географические условия танхойского времени. Плоский, широкий, медленно углублявшийся в процессе накопления осадков Пра-Байкальский прогиб не был единым бассейном, а состоял из отдельных котловин, понижений и повышений с отдельными мелкими и крупными озерами, нижними отрезками рек с их конусами выноса и дельтами, болотами и т. д. За миллионы лет все эти элементы ландшафта и свойственные им осадки перемещались и перекрывали друг друга. Окружающие прогиб горы были невысоки, но и не низки, снос продуктов выветривания с них, по-видимому, никогда не прекращался. Климат был влажным и теплым, растительность пышная, субтропическая. В западной, тункинской, части прогиба накопление осадков, как и другие геологические процессы, нередко осложнялись вспышками вулканизма, образованием лавовых потоков и небольших покровов. Таким образом, в подко-

ровых глубинах продолжалось выделение из верхней мантии относительно легкоплавкого базальта, и по мере накопления его в магматических камерах создавались условия для подъема вверх и выхода на земную поверхность. Вместе с тем прерывистость вулканических извержений за все танхойское время трудно объяснить одним неравномерным накоплением магматического материала. Несомненно, что за это время и в самой земной коре менялся характер напряжений: в периоды преобладания расширения трещины раскрывались, проницаемость коры улучшалась, увеличивался и транзит лав к поверхности. В эпохи сжатия коры проницаемость ее падала, извержения прекращались.

В танхойское время с его благоприятным климатом процветала и разнообразная фауна, в том числе крупные млекопитающие (хоботные, косороги, хищники и др.). Интересные находки остатков неогеновых животных обнаружены в Монголии. В Прибайкалье остатки позвоночных этого же времени найдены пока только на острове Ольхон.

О существовании в миоцене — раннем плиоцене Байкала как единого водоема не может быть и речи.

Все основные геологические события, происходившие в течение неогена от его начала по ранний плиоцен включительно, находят себе объяснение в глубинных процессах, о которых говорилось в предыдущей главе. Стационарный режим, в котором находилась земная кора под рассматриваемым нами районом Евразии в течение позднего мела — палеогена, был нарушен в самом конце последнего (в олигоцене) проникновением под кору первой тепловой волны из глубин верхней мантии. В течение всего танхойского времени приток тепла продолжался и был довольно равномерен. Поддерживались примерно одинаковые контрасты рельефа земной поверхности, ход осадконакопления регулировался не столько тектоническими, сколько климатическими условиями с их неизбежными колебаниями, базальтовые лавы периодически изливались на поверхность. Таким образом, геологическая активность земной коры, значительно более высокая, чем в предыдущее (палеогеновое) время, оставалась примерно на одинаковом уровне. Несомненно, это было связано с остановкой, либо с крайне замедленным продвижением вверх глубинного теплового фронта.

Время активизации земной коры и связанных с ней геологических событий в течение всего танхойского времени геологи часто называют еще раннеорогенным (начально горообразовательным) этапом.

Поздний плиоцен и самое начало плейстоцена в настоящее время многие ученые объединяют в один отрезок геологического времени — эоплейстоцен. И это, как сейчас увидим, вполне созвучно ходу геологической истории.

С эоплейстоцена начинается во вполне ощутимом виде тот процесс, о котором говорилось в предыдущей главе и который привел к образованию Байкальской рифтовой зоны. Этот последний для нас отрезок геологического времени (порядка 4—5 млн. лет) мы с полным правом можем назвать байкальским. При этом, изучая геологические документы в виде наслоений осадочных пород, его возможно разделить на два этапа: подготовительный, или раннебайкальский, и собственно байкальский. Воспользуемся этим, чтобы более четко представить себе последовательность происходивших здесь событий.

Раннебайкальский этап. В эоплейстоцене ранее медленно протекавшие процессы (движения земной коры, осадконакопление) словно получили общее ускорение. Широкие и плоские озерные и суходольные котловины под влиянием начавшегося растяжения земной коры и расслабления трещин разломов стали быстро перестраиваться, превращаясь в глубокие впадины, или «рифтовые долины». По краям опускавшихся впадин возникали уступы. Наряду с этим усилилось поднятие гор и стало оформляться обширное так называемое Саяно-Байкальское сводовое поднятие. Разрастаясь вширь и вдоль, это поднятие не захватило, однако, полосу древних речных долин Предбайкалья, по которым шел сток ленского направления, то есть на северо-восток, а также не захватило унаследованных еще с позднемеловой эпохи речных долин Западного Забайкалья с таким же направлением стока. В рифтовых впадинах озера в это время расширяются и углубляются. Очень крупное озеро образовалось тогда на месте современного Южного Байкала. В него впадали не только Пра-Селенга, но и другие реки, в том числе имевшие в доэоплейстоценовое время направление на северо-восток, в сторону Пра-Витима. Что такая перестройка речной и долинной сети про-

исходила на самом деле, нет никакого сомнения — на это указывает множество фактов, но подробнее мы о них говорить не будем. Ведь иначе и быть не могло. Пра-Байкал при своем резком углублении как бы увел «почву из-под ног» всей ранее здесь бывшей географической обстановки. Теперь он сам становится гидрографическим, более того, настоящим географическим, природным центром на всем юге Восточной Сибири. Установлено, что сток байкальских вод происходил в то время в Лену через Голоустенско-Манзурскую систему древних долин. Остатки этой системы и донные хорошо видны на местности в виде разрозненных понижений, содержащих речные отложения эоплейстоценового возраста. Надо думать, что именно по этой водной системе попали через Лену в Пра-Байкал пришельцы с далекого севера — нерпа и омуль.

Очертания Пра-Байкала, о которых говорилось выше, можно грубо сопоставить с контурами современной южной части Байкала. Но в то же самое время рифтовая зона усиленно развивается «по простиранию», то есть на северо-восток от Байкальской впадины и на запад — от Тункинской, как бы вытягиваясь и вторгаясь, с одной стороны, в глубь нынешнего Станового нагорья, а с другой — в область стыка Восточного Саяна и северо-монгольских гор. Это не значит, что рифтовые впадины в это время врезаются в уже существующие в современном виде горы. Впадины «режут» земную кору, которая одновременно вздувается вдоль и вокруг них. Так, еле наметившиеся в самом конце «танхойского времени» межгорные впадины: Баргузинская, Муйская, Верхнеангарская, Чарская и другие, теперь резко углубляются за счет внутренних опусканий по разломам или за счет отставаний от поднимающихся рядом горных хребтов. И в том, и в другом случае в них накапливаются осадки, состоящие из обломочного материала, сносимого с гор. В то же время (некоторые ученые считают, что даже раньше) в общих чертах оформляется северная котловина Байкала. Таким образом, Байкальский рифт в виде старейших Тункинской и особенно Южно-Байкальской впадин превращается в громадную Байкальскую рифтовую зону, протянувшуюся из Северной Монголии до Южной Якутии на расстоянии свыше 2000 км. Первичным ее ядром, или точкой роста, следует считать

древнейший эоценовый, а возможно, и более ранний прогиб под современным Южным Байкалом.

В эоплейстоцене и сменившем его раннем плейстоцене излияния базальтовых лав на западе (Тува, Восточный Саян, Северная Монголия) продолжались, а на востоке, по-видимому, достигли своего максимума. Ими были образованы обширные Витимское и Удоканское лавовые плато.

Другой важный факт, установленный для раннебайкальского этапа, — снижение среднегодовых температур, достигших в конце этого времени отрицательных значений. В ходе прогрессирующего похолодания шло вымирание теплолюбивой флоры и фауны. Вместе с тем развивались холодолюбивые формы органического мира, в том числе эндемичные, то есть свойственные только Байкалу, заселявшие глубины озера.

Раннебайкальский этап закончился в середине плейстоцена, то есть несколько сот тысячелетий тому назад. Если бы для этой страны могла существовать географическая карта среднего плейстоцена, то, пожалуй, в общих чертах мы довольно легко узнали по ней нынешнюю географию Прибайкалья.

Позднее, или собственно байкальский этап значительно короче предыдущего. Он продолжается донныне. Человек был свидетелем всех геологических событий этого времени. Причем вовсе не пассивным их созерцателем. За несколько сотен тысячелетий наш зверообразный предок стал современным человеком, обогатившись в процессе труда многими культурными приобретениями, но, конечно, и потеряв многое, прежде всего умеренность в своих жизненных потребностях, присущих, как правило, «дикой» природе. Борьба человека за выживание была в условиях общего похолодания тяжелой и жестокой.

Горы всей Северной Азии во вторую половину плейстоцена продолжали медленно и неравномерно подниматься. Уже в среднем плейстоцене они достигли снеговой границы, которая, вероятно, и сама в это время снизилась за счет общеклиматических изменений. Началось великое оледенение.

В горах Южной Сибири и Северной Монголии древнее оледенение не было столь грандиозным, как в Северной Америке, Восточной и Западной Европе с их более влажным климатом. Во Внутренней Азии климат уже давно был резко континентальным, с систе-

матическим дефицитом атмосферных осадков. Поэтому оледенение здесь было не покровным, а горнодолинным по преимуществу. По новым данным, оно началось около 300 тысячелетий тому назад. Льды, формируясь в привершинных частях гор, сползали в ближайшие углубления и образовывали долинны ледники длиной в десятки километров. Как правило, наибольшему оледенению подвергались северные склоны, обращенные навстречу влагонесущим воздушным течениям.

Оледенение гор не было постоянным, прерываясь межледниковыми эпохами. Различают две главные эпохи оледенения, делившиеся, в свою очередь, на отдельные, более кратковременные фазы. Последнее, «зырянское» оледенение началось около 100 тысячелетий и закончилось приблизительно 10 тысячелетий тому назад. Его остатками являются современные ледники Советского и Монгольского Алтая. Отдельные небольшие ледники известны в горах Восточного Саяна, хребта Кодар. Зато здесь очень многочисленны оставленные ледниками формы ледниковой скульптуры: цирки, кары, корытообразные долины, острые пики — карлинги, придающие вершинным частям хребтов резкие, величественные черты.

Оледенению в горах соответствовало глубокое промерзание грунтов во внеледниковой области и образование многолетней («вечной») мерзлоты, которая опять-таки вследствие резкой континентальности климата распространилась по Восточной Сибири до южных границ СССР и даже проникла довольно далеко в глубь Монголии.

Не менее значительно, чем климатические перемены, проявили себя на позднебайкальском этапе глубинные силы земной коры, с общим механизмом которых мы ознакомились в предыдущей главе. С помощью новых разломов в верхних горизонтах земной коры они вели к дальнейшему структурному объединению отдельных рифтовых впадин в более крупные и глубокие депрессии. Закончилось также объединение глубоких котловин Пра-Байкала в единый Байкал. По-видимому, уже в начале позднебайкальского этапа новые мощные перемещения по Обручевскому разлому, проходящему вдоль северо-западного берега нынешнего Байкала, «отрубили» от береговой суши крупный продольный блок, опустившийся под уровень озера. Тем

самым были обезглавлены верховья долины Пра-Манзурки, по которой шел сток вод Байкала в Лену, что, наряду с новым поднятием Приморского хребта, на некоторое время могло вообще лишить Байкал всякого стока, тем более что опускание дна озера вызывало увеличение емкости его чаши. Дальнейшее возрастание глубин водоема повлекло за собой накопление глубоководных илов.

Новым грандиозным событием того же времени, причем также в связи с «активностью» Обручевского разлома, стало отделение нового крупного куска береговой суши, но в условиях не поднятия, а относительного снижения высот Приморского хребта. Это явление, достаточно убедительно доказываемое и геологическими фактами, и батиметрическими работами (массовыми промерами глубин Байкала), произошло в районе пос. Лиственничного и привело к образованию Лиственничного залива Байкала. Так, по современным представлениям, возникла возможность прорыва и стока вод Байкала снова в северном направлении, образование в здешних горах прорези — истока р. Ангара и сразу же начавшееся формирование ее долины. Как видим, данные науки ни в чем не противостоят народной легенде о дочери Байкала красавице Ангаре, убежавшей к витязю Енисею, свидетельствуя вдобавок о молодости беглянки. Естественно, что образование верхнего отрезка долины Ангара сильно повлияло на распределение бассейнов более древних рек и их долин в южной части Иркутского амфитеатра, привело к их перестройке, следы которой можно видеть и теперь.

На позднебайкальском этапе оформилась в современных контурах Байкальская рифтовая зона. При этом происходило, да и происходит в наше время, возникновение новых, самых молодых еще малых впадин на монгольском и якутском ее флангах.

Научные материалы, собранные и изученные в Институте земной коры, позволяют высказать интересную догадку. На фоне современных, инструментальными наблюдениями установленных поднятий гор и опускания днищ межгорных впадин, западный фланг рифтовой зоны, «разбросав» отдельные мелкие впадины к западу от рифта оз. Хубсугул, как бы стремится глубже врезаться в Западную Монголию, потрясаемую, как мы видели, грандиозными землетрясениями. Этой тенденции противостоят, однако, иное, внутриазиатское

поле напряжений в земной коре с господством в нем горизонтальных сжатий, и ориентировка здешних разломов, создающих как бы преграду для нашествия с севера молодых рифтовых структур. Этот «заслон» представлен не менее молодыми, но поперечными, то есть широтными структурами. Вместе с тем небольшой «прорыв» рифтовых тенденций с севера в глубь расположения внутриазиатских структур уже имел место на наших глазах в виде меридиональных деформаций, возникших при Могодском землетрясении 1967 г. в западной части Монголии. Это знаменательный факт. На другом, якутском, фланге структуры рифта упираются в очень жесткий древний Алданский массив, стремясь к его взламыванию, но, пожалуй, также к обходу массива с юга. Чем кончится эта борьба? Произойдет ли по оси Байкальской рифтовой зоны раскол Азии и раздвижение в стороны от него материковых плит с образованием нового молодого океана, как думают некоторые ученые, или геологическое развитие всей этой огромной страны пойдет по иному пути? На этот вопрос пока нельзя дать уверенного ответа. Да и многие явления, бывшие или происходящие здесь в земной коре, остаются пока загадками. Например, почему Байкальская рифтовая зона возникла на юге Восточной Сибири, а не в другом месте в Азии. Почему древнее «ядро» рифтовой зоны возникло именно на месте будущей Южно-Байкальской котловины и во времени так удалено от развития всей этой зоны? Пробудятся ли старые, возникнут ли в ближайшем геологическое время новые вулканы на этой территории, или же мы живем в пору общего затухания тех глубинных, преимущественно тепловых процессов, так ярко и разнообразно отражающихся на земной поверхности? Все эти и другие вопросы предстоит решать будущим поколениям геологов и геофизиков, не говоря уже о том, что им предстоит заниматься еще многими общими глобальными загадками земной коры и более глубоких недр нашей планеты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нарушение принятой манеры — обязанности отвечать на вопросы читателя, догадываясь при этом

о чем он хочет его спросить, — автор этой книги сам спрашивает читателя: что осталось у него в голове, что было ясно, а что осталось неясным и непонятным? Впрочем, и об этом придется догадываться тому, кто писал эту книгу.

Название «Загадки земной коры» обещало не только указать, но как-то решить эти загадки. Автор сделал все, что было в его силах, не углубляясь, конечно, в самые сложные вопросы.

Мы видели, во-первых, что земная кора как часть Земли, одна из верхних ее оболочек, своим происхождением и развитием, то есть изменением во времени, теснейшим образом связана с жизнью планеты в целом, и в этом смысле является зеркалом, отражающим и внутренние, и внешние процессы, и влияния на строение и состав всей планеты.

Во-вторых, мы убедились в том, что земной коре, как всему в природе, свойственна историчность, то есть путь по координате времени. Земная кора возникла миллиарды лет назад в далеком «доархее», существует, меняется, непрерывно взаимодействуя с соседними оболочками. История земной коры записана ею самой в неисчислимом количестве документов, часть которых безвозвратно потеряна (например, сожжена или расплавлена), часть прочитана, а часть пока еще не доступна и поэтому не прочитана. Эта последняя часть геолого-исторических документов таится в недрах земной коры. Она еще только нащупывается сверхглубоким бурением.

В-третьих, мы видели, что на примере нашей планеты и ее коры можно говорить о жизни как о космическом явлении. Если наши усилия доказать это для иных миров при всей своей духовной силе, логике, убежденности пока не дали науке никакого конкретного материала, то земная кора, как мы видели, как бы освещена изнутри и снаружи, обогащена, насыщена следами древних биосфер, обеспечивая при этом материальную основу цветения современной биосферы. Биогосферы прошлого материально вошли в состав и строение земной коры. Каждая из последующих, более «молодых» биосфер захватывала все больше земного пространства, усиливалась энергетически, мощь ее воздействия на соседние оболочки неуклонно возрастала.

В-четвертых, хотя земная твердь и тверда, но в ней

самой действуют мощные напряжения, источники которых, внутренние и космические, буквально ни на минуту не оставляют ее в покое. Вращаясь вокруг своей оси, вращаясь вокруг Солнца, вращаясь вокруг общего с Луной центра, Земля непрерывно испытывает действие приливов, высота которых даже в твердой коре достигает полуметра. Приливная волна постоянно обегает всю Землю. Но и кроме приливов в оболочках Земли действуют многие другие силы. О них говорилось выше. Тысячи ежегодных землетрясений не в состоянии снять непрерывно накапливающихся напряжений в сейсмических районах Земли. Подобно ободу гигантского колеса, кору стягивает сила тяжести, и если бы кора была совершенно однородна, планета давно приобрела бы форму сфероида. Но и существующая внутренняя неоднородность вещества и физических свойств земной коры также неоднородна во времени. Ученые уверены, что движения земного вещества имеют место во всей толще планеты, во всяком случае, до самого земного ядра, то есть почти в пределах половины земного радиуса. Сторонников такого взгляда немало. С остановками или без них, с ускорениями или без них Земля в целом испытывает крайне медленное расширение, а земная кора также в целом и столь же медленно испытывает растяжение. Земная кора переполнена механическими движениями. Но она полна еще превращениями, переходами, реакциями, среди которых заведомо отсутствуют только ядерные — для них недостает высоких температур.

В-пятых, земная кора — самая хрупкая часть нашей планеты, но и ее хрупкость с глубиной быстро уменьшается и сходит, так сказать, на нет еще в верхней части литосферы. Зона хрупкости — зона планетарной трещиноватости земной коры и слагающих ее пород на всех доступных человеку глубинах. Кстати, хрупкость или ломкость — свойство вещества, проявляющееся обычно при относительно низких температурах и быстродействующей силе. Говорят, что хрупкая деформация наступает по достижении телом предела прочности. В наше время, когда получены подробные изображения некоторых планет, например Марса, видно, что его поверхность изоборуждена трещинами разломов, то есть хрупкими деформациями. Такова же картина земной поверхности из космоса. Следствие хрупкости поверхности зон земной коры — скрытые и

явные трещины самых разнообразных размеров. Об этом говорилось в первой части книжки. Практически в любом выходе твердых пород на земную поверхность видна их частая или редкая, обычно хорошо упорядоченная трещиноватость. А если подумать о ней серьезно с совсем другой стороны, например, с точки зрения человеческой истории? Ведь именно хрупкость камня на (и близ) земной поверхности была важным условием «общения» человека с природой, с началом развития материальной культуры. Это неожиданный, но неоспоримый вывод. Без этого свойства камня (его облегченной делимости по определенным направлениям) не могли быть построены так называемые циклопические сооружения Древней Греции и Древнего Перу, гробницы и храмы Египта. Это же замечательное свойство природного материала, что почти повсюду под рукой, позволило человеку преодолеть первый отрезок на длиннейшем пути от первобытной дикости к нынешней цивилизации, создать, пройти и оставить далеко позади каменный век.

В-шестых, совершенно несомненно, что концентрации разнообразных полезных ископаемых, имеющих или могущих иметь значение для дальнейшего материального прогресса человечества, заключены именно в земной коре, а не в подкоровых глубинах. Дело обстоит таким образом потому, что именно земная кора, а не какая-либо другая оболочка планеты работает как своего рода обогащательная установка, где бедные руды превращались и превращаются доныне в богатые рудные концентраты, в то, что называется рудами в горной промышленности и в экономике. Именно в земной коре (и далеко не в последнюю очередь на ее поверхности) непрерывно, многие миллионы лет работают механизмы дифференциации. Что это так, что в верхней твердой оболочке шли и идут процессы разделения вещества на геологические тела разного состава, свидетельствует в первую очередь сама земная кора — верхняя и самая легкая оболочка твердой Земли, а также огромное разнообразие слагающих ее горных пород по их составу, местоположению, форме, размерам, геологическому возрасту и т. д. Это разделение осуществляют физические, химические и биологические процессы. Но они же в благоприятных для этого условиях определяют концентрацию тех или иных веществ, в частности полезных ископаемых.

Земная кора как бы пропаривается снизу летучими веществами, поступающими из мантии, проплавляет-ся магматическими расплавами, промывается подземной гидросферой, наращивается осадками морей и суши, непрерывно создается и столь же непрерывно разрушается водной и воздушной оболочкой, взаимодействует с биосферой, создает почвы, обогащается горючими и другими продуктами жизнедеятельности. Словом, кора — область наиболее сложных и изменчивых перемещений и превращений вещества планеты, накопитель и растратчик как солнечной, так и внутренней энергии. Именно в земной коре, а не в подкоровых глубинах сконцентрированы радиоактивные элементы — источник атомной энергетики, с использованием которой во многом, по-видимому, связано будущее человечества.

В заключение вернемся к загадкам земной коры. Читая эту книжку, мы могли бы убедиться в том, что и на сегодняшний день их остается немало. Прогресс наук о Земле налицо, в этом никто не сомневается. В то же время остается постоянно действующий тормоз исследований Земли и в первую очередь земной коры — единственного пока места во Вселенной, где человек завоевал, укрепил, обеспечил в той или иной степени комфортом свой дом, благоустроил свои экологические ниши. Этот тормоз — недоступность недр планеты, по крайней мере, на $2/3$ земной коры по ее мощности и все еще недостаточная доступность $3/4$ поверхности планеты, занятых водами Мирового океана.

Какова же земная кора не в целом и в общем, а во всех своих существенных чертах там, где мы почему-либо хотим знать о ней больше? Какова древнейшая история земной коры? Как разделить ее на более дробные горизонты? Какие конкретные законы управляют размещением полезных ископаемых в земной коре, как безошибочно отыскивать их месторождения на невидимой глубине? Какими конкретными силами и механизмами порождаются в недрах очаги землетрясений, как предвидеть их место, силу, а главное, — время? Какие силы являются ведущими в создании структуры земной коры, в историческом развитии и преобразовании этой структуры? Стоят ли материки на месте, «на якорях», или они путешествуют по сферической, на глубине лежащей скользкой поверхности нашей планеты, покрывая с ходом геологического вре-

мени расстояния в тысячи километров? Всего этого вполне достоверно мы пока не знаем. Но отсюда не следует, что геология и другие науки о Земле резко отстают от других естественных наук. Велик, грандиозен, крайне сложен, невидим, непосредственно недоступен предмет, о котором рассказывалось в этой книжке. Мы, дети Земли, мало знаем свой дом еще и потому, что только в самые последние годы наметилось настоящее объединение наук о Земле, началось наступление на ее тайны не разрозненно, а сообща.

Перевертывая последнюю страницу этой книжки, будем надеяться, что о земной коре мы скоро узнаем много нового. А новое поставит перед наукой новые вопросы.

Объяснение некоторых терминов

Гнейс — кристаллически-зернистая порода параллельно-сланцеватого или полосчатого сложения, состоящая из кварца, полевых шпатов и некоторых цветных минералов. Образуется при сильном метаморфизме как осадочных, так и изверженных кислых пород.

Гранат — минерал сложного химического состава, образующийся в метаморфических и изверженных породах. Имеет много разновидностей, притом разной окраски. Некоторые прозрачные гранаты ценятся как полудрагоценные камни.

Графит — темно-серый или железо-черный минерал, состоящий из углерода. Образуется при очень высоких температурах.

Амфибол — минерал сложного химического, притом непостоянного состава, относящийся к метасиликатам, типичный для многих изверженных и метаморфических пород. Пример амфибола — обыкновенная роговая обманка.

Кальцифиры — магнезиальные мраморы, образованные из магнезиальных известняков при очень высоких температурах. Метаморфическая порода.

Эклогиты — кристаллически-зернистые породы не вполне ясного происхождения, основного состава. Большинство ученых считает эти породы продуктом метаморфизма основных пород, происходящего при очень высоких температурах и давлениях.

Эпицентр — точка или линия, составляющие вертикальную проекцию на земную поверхность очага землетрясения.

Плейстоценовая область — область, охваченная землетрясением, где происходят наибольшие разрушения.

Палеоцен, эоцен, олигоцен — подразделения палеогенового геологического периода, последовательно сменяющие друг друга в этом порядке.

Эоплейстоцен — сравнительно недавно введенное в науку подразделение геологического времени, заключенное между четвертичным периодом и плиоценом. Охватывает самые верхи плиоцена и самые низы антропогена. Время резкой смены тектонического и климатического режима на Земле, предшествовавшее быстрому похолоданию и материковому оледенению.

Футурология — обозначение науки о будущем, содержание и методы которой еще точно не установлены.

Рекомендуемая литература

ТЕКТОНОСФЕРА ЗЕМЛИ. М.: Наука, 1978.

Белоусов В. В. ЗЕМНАЯ КОРА И ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ МАТЕРИКОВ. М., 1966.

Белоусов В. В. ЗЕМНАЯ КОРА И ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ ОКЕАНОВ. М., 1968.

Грачев А. Ф. РИФТОВЫЕ ЗОНЫ ЗЕМЛИ. М.: Недра, 1977.

Зорин Ю. А. НОВЕЙШАЯ СТРУКТУРА И ИЗОСТАЗИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ. М.: Наука, 1971.

Муратов М. В. ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАТЕРИКОВ И ОКЕАНИЧЕСКИХ ВПАДИН. М.: Наука, 1975.

Резанов И. А. ЗЕМНАЯ КОРА. М., 1974.

Резанов И. А. ОБРАЗОВАНИЕ ГОР. М.: Наука, 1977.

Баландин Р. К. ПОДВИЖНАЯ ЗЕМНАЯ ТВЕРДЬ. М.: Мысль, 1978.

Давиденко И. В. ЗЕМЛЯ — ТВОЙ ДОМ. М.: Недра, 1982.

Мещеряков Ю. А. РЕЛЬЕФ СССР. М., 1972.

Логачев Н. А. и др. НАГОРЬЯ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ. Серия «История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока». М.: Наука, 1974.

Солоненко В. П. и др. ЖИВАЯ ТЕКТОНИКА, ВУЛКАНЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ СТАНОВОГО НАГОРЬЯ. М.: Наука, 1966.

Флоренсов Н. А. СКУЛЬПТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. М.: Наука, 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

К ЧИТАТЕЛЯМ	3
ПЕРВЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ. ЧТО МЫ ЗНАЕМ О ЗЕМНОЙ КОРЕ?	8
СИЛЫ, СТРОЯЩИЕ И ПЕРЕСТРАИВАЮЩИЕ ЗЕМНУЮ КОРУ, ИЗУЧАЮТСЯ ТЕКТОНИКОЙ	24
ГОРЫ ТОЖЕ ИМЕЮТ СВОЮ СУДЬБУ	35
ДЕТСТВО ЗЕМНОЙ КОРЫ	56
ЭТИ ГОРЫ ОГРАЖДАЮТ ПУСТЫНИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	67
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ГОБИЙСКОМ АЛТАЕ	82
ВУЛКАНЫ КАК СТРОИТЕЛИ ГОР И КАНАЛЫ СВЯЗИ С НЕДРАМИ	99
ЗЕМНАЯ КОРА И ЖИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ	120
ЧТО ТАКОЕ БАЙКАЛЬСКИЙ РИФТ?	134
ИЗ ПОСЛЕДНИХ СТРАНИЦ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛЕТОПИСИ	151
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	166
ОБЪЯСНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ	172
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	174